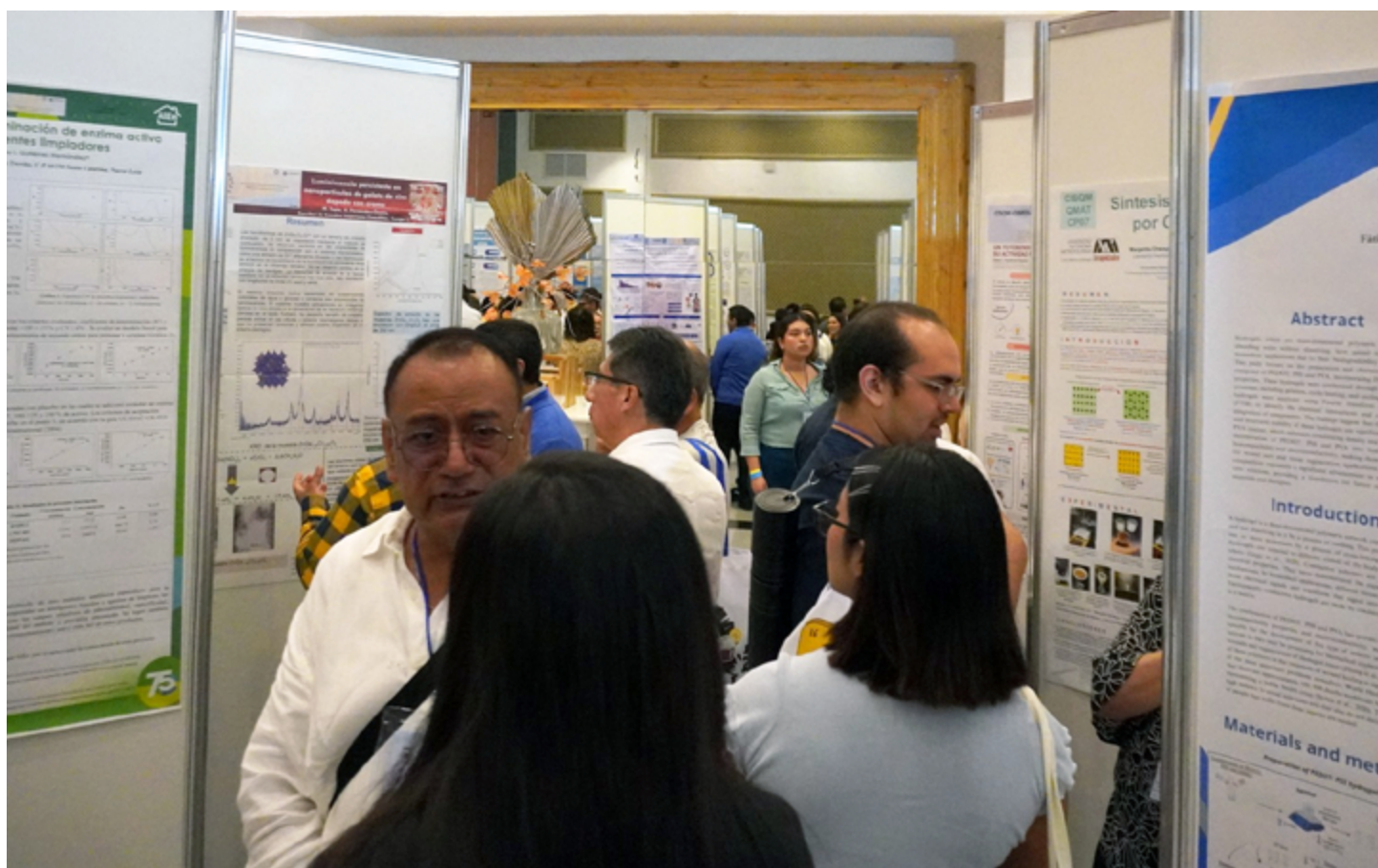




## *Boletín de la Sociedad Química de México*

Volumen 18  
Número 3  
Año 2024  
Septiembre - Diciembre



# Boletín de la Sociedad Química de México (Bol. Soc. Quim. Mex.)

## EDITORES

Dra. Mariana Ortiz Reynoso  
Dr. Martín Caldera Villalobos  
Dra. Mariana Esquivelzeta Rabell

## COMITÉ EDITORIAL

Dra. Catalina Pérez Berumen  
Dra. Liliana Schifter Aceves  
Dra. Miriam Verónica Flores Merino  
Mtra. Itzayana Pérez Álvarez  
Mtra. Edna Teresa Alcantara Fierro  
Dr. Miguel Ángel Méndez Rojas  
Dr. Gonzalo Martínez Barrera  
Dr. Joaquín Barroso Flores  
Dr. Marcos Hernández Rodríguez  
D. Rogelio Godínez Reséndiz  
Dr. Rubén Vásquez Medrano  
Mtra. Carmen Doria Serrano



## MAQUETACIÓN

Estefanie Luz Ramírez Cruz  
es.ramirezacruz@gmail.com

## CONTACTO BSQM

boletin.sqm@gmail.com  
Sociedad Química de México, A.C.

## EN PORTADA:

Sesión de Carteles en el marco del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y el 5° Congreso Internacional de Educación Química: "Una química para el futuro".

## DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

El Boletín de la Sociedad Química de México, año 18, número 3, septiembre-diciembre de 2024, es una publicación cuatrimestral, septiembre-diciembre 2024, editada por la Sociedad Química de México, A.C., Barranca del Muerto 26, Col. Crédito del Constructor, Alc. Benito Juárez, 03940, Ciudad de México, Tel. 55 56 62-68 37. <http://bsqm.org.mx/>, [boletin.sqm@gmail.com](mailto:boletin.sqm@gmail.com). Editora responsable Mariana Ortiz. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2017-063013203100-203, ISSN-e: 2594-1038, ambos otorgados por Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número Estefanie Ramírez, Fecha de última modificación: 30 de diciembre de 2024.

## ¿Qué van a leer en este número?

Hoy publicamos el último ejemplar del volumen 18 del Boletín de la Sociedad Química de México, también el postremo del año 2024. En la sección *Química Hoy* encontrarán la información de los ganadores de los premios otorgados en los congresos de la Sociedad Química de México 2024 ¡Muchas felicidades! También se incluye la reseña del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México (CISQM) y del 5° Congreso Internacional de Educación Química (CIEQ) en su edición 2024 de la pluma de la Dra. Mariana Esquivelzeta, ambos eventos celebrados en Puerto Vallarta, Jalisco, en la modalidad presencial.

Año con año, el CISQM y el CIEQ implican un arduo trabajo coordinado de varios meses de duración, y llevan implícito el beneplácito de saber que son parte total del quehacer de la SQM para cumplir su misión al pie de la letra: "Procurar y promover el desarrollo de las ciencias químicas en el país, a través del fortalecimiento de las relaciones entre los profesionales de la química así como de los estudiantes que se desarrollan en este ámbito; ofreciendo un espacio de intercambio de alto valor académico, donde se vincule la investigación y la educación en beneficio de sectores más amplios de la sociedad."

En la misma sección encontrarán una reseña escrita por Martín Caldera-Villalobos a propósito del artículo "Johann Wilhelm Schaffner, Leopoldo Río de la Loza, and elemental analysis in Mexico. Or when pettiness eclipses fortune", publicado en 2023 en la revista *History of Pharmacy and Pharmaceuticals* <https://hopp.uwpress.org/content/64/2/154> Caldera describe que el citado artículo, apto para una gran variedad de lectores, representa una lectura obligada para quien gusta de la historia de la química en México. Como siempre, refrendamos nuestro compromiso con la historia de la ciencia como herramienta para comprender el estado del arte de la química hoy.

En el apartado *Química, Desarrollo y Sociedad* publicamos el artículo "Uso de técnicas estadísticas en el estudio de la corrosión e integridad mecánica en ductos de la industria petrolera" escrito por los autores del Instituto Politécnico Nacional Velázquez-Altamirano, González-Arévalo, Cabrera-Sierra, Terán-Méndez. El texto aporta con detalle la aplicación del uso de regresiones no lineales para modelar el crecimiento de defectos de corrosión y determinar la influencia de las variables en dicho fenómeno. Asimismo, incluimos el artículo sometido por tres miembros de la comunidad de la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí, los autores Velarde-Salcedo, Romano-Moreno y Medellín-Garibay, titulado "Monitorización terapéutica de fármacos: ¿A quién beneficia y qué se necesita para implementarla?", el cual explica de forma sencilla y clara qué es la monitorización farmacoterapéutica y cuáles son los beneficios para la salud de esta herramienta de la bioquímica, y esboza los retos que existen para que los pacientes mexicanos tengan acceso a este tipo de servicios farmacéuticos.

Finalmente, en la sección *Química para los Estudiantes* incluimos el artículo "Rastreado peligros invisibles: el impacto de los microplásticos en la salud humana", elaborado por un grupo conformado por tres autores: Hernández-Calderón, Aguillón-Gutiérrez y Díaz Barriga, pertenecientes a la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán de la UNAM y de la Universidad Autónoma de Coahuila. Es imperativo que la comunidad lectora del Boletín conozca cómo los microplásticos ingresan al organismo y pueden desencadenar un proceso inflamatorio que podría derivar en daño tisular, afectando órganos vitales y del sistema reproductivo humano. En opinión del comité editorial, este artículo nos hace reflexionar en la iniciativa *One Health* promovida por la Organización Mundial de la Salud – que pretende unificar las aproximaciones para equilibrar y optimizar la salud de las personas, animales y medio ambiente–, y nos recuerda la responsabilidad que asume la Sociedad Química de México para el cumplimiento de los Objetivos del Desarrollo Sostenible 3. Salud y Bienestar y 12. Producción y Consumo Responsables de la Organización de las Naciones Unidas.

Antes de despedirme, quiero agradecer el envío de artículos de investigación original y revisión, ensayos, discusiones académicas, reseñas, textos in memoriam y cartas, a quienes ven el Boletín de la Sociedad Química de México como un medio de difusión para dar a conocer información química tanto a sectores especializados como a la sociedad interesada, haciendo accesible información para comprender el impacto de la química en la vida cotidiana. Nos alegra saber que el Boletín tiene resonancia en todo nuestro país, al incluir autores de varias regiones del territorio nacional. ¡Sus contribuciones hacen posible el Boletín!

Esperamos que este número que hemos preparado con esmero sea de su agrado.

Dra. en F. y T.F. Mariana Ortiz Reynoso  
Editora en Jefe del Boletín de la Sociedad Química de México

# CONTENIDO



## **QUÍMICA Hoy**

Ganadores del Premio Nacional de Química «Andrés Manuel del Río» y ganadores del Premio a las Mejores Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas «Rafael Illescas Frisbie» Edición 2024 4

Felicitaciones de la Sociedad Química de México, A.C. a nuestro socios 5

Saludo del Presidente de la Sociedad Química de México 6

Reseña del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y del 5° Congreso Internacional de Educación Química (CIEQ)  
*Mariana Esquivalceta Rabell* 7

Sobre Mariana Ortiz y Gabriel E. Cuevas, “Johann Wilhelm Schaffner, Leopoldo Río de la Loza, and elemental analysis in México”. Reseña  
*Martín Caldera-Villalobos* 12

## **QUÍMICA, DESARROLLO Y SOCIEDAD**

Uso de técnicas estadísticas en el estudio de la corrosión e integridad mecánica en ductos de la industria petrolera  
*J.C. Velázquez-Altamirano, N.E. González-Arévalo, R. Cabrera-Sierra, G. Terán-Méndez* 15

Monitorización terapéutica de fármacos: ¿A quién beneficia y qué se necesita para implementarla?  
*Rodrigo Velarde Salcedo, Silvia Romano Moreno, Susanna Edith Medellín Garibay* 23

## **QUÍMICA PARA LOS ESTUDIANTES**

Rastreado peligros invisibles: el impacto de los microplásticos en la salud humana  
*María Llasbeth Hernández Calderón, David Ramiro Aguillón Gutiérrez y Sandra Díaz Barriga Arceo* 28



**Premio Nacional de Química  
Andrés Manuel del Río  
2024**

En el mes de noviembre se llevaron a cabo las reuniones virtuales de los Jurados del Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" para designar a los ganadores de este año.

El 5 de noviembre se realizó la reunión del Jurado de la categoría Desarrollo Tecnológico. Después de una ardua deliberación en la que se compartieron argumentos sólidos de cada una de las partes, el Jurado resultó sin veredicto; por lo cual se declaró Desierto para la edición 2024.

El 7 de noviembre, se reunieron los integrantes de los Jurados del Área Académica. Después de las reflexiones necesarias se obtuvieron los siguientes resultados por categoría:

Categoría: Investigación  
**Dr. José Guadalupe Trujillo Ferrara**  
Instituto Politécnico Nacional

Categoría Educación Nivel Superior  
**Dra. Flor de María Reyes Cárdenas**  
Facultad de Química, UNAM

Categoría Educación Nivel Medio Superior  
**Mtra. Rosa María Catalá Rodes**  
Colegio Madrid

Categoría Educación Nivel Básico  
**Desierto**

Haciendo público el reconocimiento a la excelente calidad de los candidatos a este galardón, la Sociedad Química de México A.C., felicita especialmente a los galardonados de este año y desea que su trabajo siga rindiendo frutos para beneficio de las Ciencias Químicas en nuestro país.



**Premio a las Mejores Tesis de  
Licenciatura, Maestría y Doctorado  
en Ciencias Químicas  
"Rafael Illescas Frisbie"  
edición 2024**

Después de la revisión y análisis de los expedientes presentados para participar en cada una de las categorías, los integrantes convocados para formar parte del Jurado se reunieron de manera virtual el 5 de noviembre pasado. Después de las debidas reflexiones se definieron a los siguientes ganadores:

**Licenciatura: Q. Hebert Octavio Barragán Mayet** con la tesis: "Estudio del comportamiento de adenina adsorbida en arcillas de interés prebiótico", bajo la dirección de la Dra. Alicia Negrón Mendoza y el asesoramiento técnico de la QFB. Claudia Consuelo Camargo Raya de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

**Maestría: Desierto**

**Doctorado: Dra. María del Carmen Cortez Trejo** con la tesis: "Desarrollo de hidrogeles electrostáticos a partir de proteínas de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*)/ frijol (*Phaseolus vulgaris*) y goma xantana", bajo la dirección de la Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz de la Universidad Autónoma de Querétaro.

¡Muchas Felicidades!



  
SOCIEDAD QUÍMICA  
DE MÉXICO, A.C.

La Sociedad Química de México, A.C.  
felicitó al  
**Dr. Ignacio González Martínez**  
Profesor-Investigador del  
Departamento de Química de la UAM-I,  
Editor en Jefe del *J. Mex. Chem. Soc.* (2014-2018)  
y Ex Presidente de SQM (2020-2021)

Por haber recibido el nombramiento de  
**Profesor Distinguido** de la  
Universidad Autónoma Metropolitana

*20 de diciembre de 2024*  
*"By química nos une"*

[www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx) 

  
SOCIEDAD QUÍMICA  
DE MÉXICO, A.C.

La Sociedad Química de México, A.C.  
felicitó al  
**Dr. David Quintanar Guerrero**  
Director de la Facultad de Estudios  
Superiores, Cuautitlán, UNAM y  
Presidente Nacional de SQM

Por haber recibido el **XXIV Reconocimiento a la  
Excelencia Farmacéutica 2024, Categoría  
Trayectoria Profesional en Investigación**  
otorgado por el Colegio Nacional de Químicos  
Farmacéuticos Biólogos de México, A.C.

*30 de noviembre de 2024*  
*"By química nos une"*

[www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx) 

## Saludo del Presidente de la Sociedad Química de México

Quiero agradecer la asistencia a los eventos organizados por nuestra Sociedad, especialmente a los congresos Internacional de la Sociedad Química de México (CISQM) y 5° Internacional de Educación Química (CIEQ) en su edición 2024. En breve estaremos anunciando próximas novedades y sedes para el 2025. Tengan la seguridad de que seguiremos trabajando en pro de la calidad y el avance científico en el área química. Les deseamos a cada uno de los lectores del Boletín de la Sociedad Química de México una feliz navidad y lo mejor para el próximo año, extendiéndolo a sus familias.

Atentamente,

*Dr. David Quintana Guerrero*



# Reseña del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y 5° Congreso Internacional de Educación Química. Una Celebración de la Excelencia en la Enseñanza y la Investigación Química

*\*Mariana Esquivalceta Rabell*



Foto: Ceremonia de inauguración y entrega de premios SQM.

Este año nos reunimos del 19 al 22 de noviembre de 2024 en la ciudad de Puerto Vallarta, Jalisco; siendo el epicentro de un importante evento que reunió a más de 300 educadores, científicos y entusiastas de la química. El Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y 5° Congreso Internacional de Educación Química se llevó a cabo bajo el lema "Una química para el futuro", destacándose como un espacio fundamental para reflexionar sobre los retos y oportunidades de esta ciencia y su enseñanza.

El Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y 5° Congreso Internacional de Educación Química suceden a la par, con una extensa agenda que incluyó 278 trabajos programados, 117 presentaciones orales, 90 carteles profesionales y 71 estudiantiles. Ambos eventos ayudaron a consolidar un foro de intercambio de ideas y experiencias. Las ocho conferencias plenarias, seis conferencias de premiación y tres simposios abordaron temas cruciales como la innovación en la docencia, el desarrollo de materiales sostenibles y la aplicación de la inteligencia artificial en el aula.

Más allá de los logros individuales, este evento evidenció la fuerza colectiva de una comunidad química comprometida con construir un futuro más sostenible a través de la química, su investigación y su educación. La celebración de actividades como mesas de diálogo, talleres de divulgación y competencias estudiantiles reafirmaron el

compromiso de la Sociedad Química de México por fomentar el desarrollo de la química para el futuro de la sociedad, así como un aprendizaje significativo, inclusivo y transformador.

Los talleres precongreso fueron el mejor banderazo de salida del Congreso Internacional de Educación Química 2024. Para los asistentes, estas actividades son una gran oportunidad para discutir y explorar temas de interés común, así como expandir sus habilidades en diversas áreas. El Dr. Vojtech Jancik impartió la "Introducción a la cristalografía de moléculas pequeñas" y el Dr. David Ignacio Ramirez junto con el Dr. Pablo Carpio Martinez desarrollaron el taller sobre "Inteligencia Artificial en la Química", el taller impartido por la Q. Gricelda Collado Muñoz trató el "Manejo de sustancias y residuos químicos en laboratorios de docencia de química". La Mtra. Alejandra Cruz Cruz junto con la Mtra. Estefanía Cabrera Jaimes nos guiaron en la "Aplicación de herramientas de Inteligencia Artificial (IA) para facilitar la docencia" y la Dra. Gabriela Navarro Tovar presentó una "Guía para comprender la difusión y divulgación de la ciencia".

La inauguración fue el momento para galardonar a los ganadores de los premios de la SQM a las mejores tesis de licenciatura y doctorado, así como los premios nacionales en las categorías de Investigación, Docencia a Nivel Medio Superior y Docencia a Nivel Superior.

El Dr. José Guadalupe Trujillo Ferrara, Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río", categoría Investigación, impartió la conferencia: La reacción Diels-Alder como modelo para la síntesis de análogos de neurotransmisores, la M. en C. Rosa María Catalá Rodes, Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río", categoría Docencia Nivel Medio Superior; nos llevó en un viaje



Foto: Conferencia Mtra. Rosa María Catalá Rodes, Premio Nacional "Andrés Manuel del Río" Docencia Nivel Medio Superior.



por el tiempo, compartiendo su trayectoria a través de los años, al igual que la Dra. Flor de María Reyes Cárdenas, Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”, categoría Docencia Nivel Superior.

La conferencia “Evolución Química: “Adsorción e irradiación de adenina en saponita” del Q. Heber Octavio Barragán Mayet, nuestro galardonado con el Premio a la Mejor Tesis. La conferencia de Licenciatura Rafael Illescas Frisbie fue a distancia, ya que no le fue posible acompañarnos en el evento. Por último, la Dra. María del Carmen Cortez Trejo ganó el Premio a la Mejor Tesis de Doctorado Rafael Illescas Frisbie.

El segundo día las dos conferencias planarias fueron: “*Polypharmaceutical Behaviour of Metal Drugs*” con la Dra. Lena Ruiz Azuara de la Facultad de Química, UNAM y “*Potentials for Molecular Modeling*” con el Dr. Adrian Roitberg del Departamento de Química de la Universidad de Florida. Ambas fueron grandes aportaciones, a las cuales le siguieron el simposio de desarrollo sostenible y la mesa redonda sobre la generación de energías alternativas. También, se llevó a cabo la mesa de discusión “*Diagnóstico: ¿Por qué no les gusta la química a los estudiantes?*”, un tema que no debemos dejar de analizar para prever la forma que tomará la educación en las aulas del futuro.

El tercer día disfrutamos de tres grandes plenarios: “Semisíntesis de triterpenos heterocíclicos con propiedades citotóxicas” aportación del Dr. Guillermo Delgado Lamas del Instituto de Química de la UNAM y la plenaria titulada “Química y nuevos materiales. Semiconductores tipo perovskita para aplicaciones fotovoltaicas y optoelectrónicas una aportación” del Dr. Diego Solís Ibarra del Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM. Por último, la conferencia plenaria de PhD. Ozcan Gulacar del Departamento de Química de UC Davis, titulada “*The Urgency of Adopting the System Thinking as an Educational Framework in the Face of Major Changes in the 21st Century*”, nos propone transformar el aula a través de las estrategias del pensamiento sistémico. Estas estrategias *Educational Frameworks* exploran las partes interconectadas de sistemas complejos.

En la mesa de diálogo de Directores y Jefes de Departamento de Instituciones con programas en química, participaron la Dra. Irma Idalia Rangel Salas, Jefa de departamento de química CUCEI de la UdeG; el Dr. Carlos Amador Beldolla, Director de la Facultad de Química de la UNAM, y el Dr. Luis Demetrio Miranda, Director del Instituto de Química UNAM. Juntos, en un diálogo dinámico, los directores de estas importantes instituciones educativas nos presentaron interesantes reflexiones sobre cómo se va a enseñar la química en el futuro.

Este evento se ha consolidado como un espacio imprescindible para que educadores, científicos y entusiastas de la química se reúnan, intercambien ideas y reflexionen sobre los retos y oportunidades de esta disciplina. Con el lema “Una química para el futuro”, el congreso de este año reunió a participantes provenientes de diversas regiones de México, así como de países como Canadá, Chile, Cuba, Ecuador y Estados Unidos. Esta diversidad de orígenes y perspectivas enriqueció el diálogo y permitió explorar enfoques innovadores para el desarrollo del futuro de la química, alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Organización de las Naciones Unidas.

Durante cuatro días intensos, los participantes tuvieron la



Foto: Conferencia Dra. Flor de María Reyes Cárdenas, Premio Nacional de Química “Andrés Manuel del Río”, Docencia Nivel Superior.

oportunidad de asistir a sesiones orales de trabajos programados, exposiciones orales, sesiones de carteles profesionales y carteles estudiantiles. Estas actividades abarcaron temas como la innovación en la enseñanza, el desarrollo de materiales sostenibles, la aplicación de la inteligencia artificial, la divulgación científica, cristalografía, el uso de inteligencia artificial en docencia e investigación, seguridad en el manejo de sustancias y residuos químicos, difusión y divulgación de la ciencia, la experiencia de poder ver y tocar

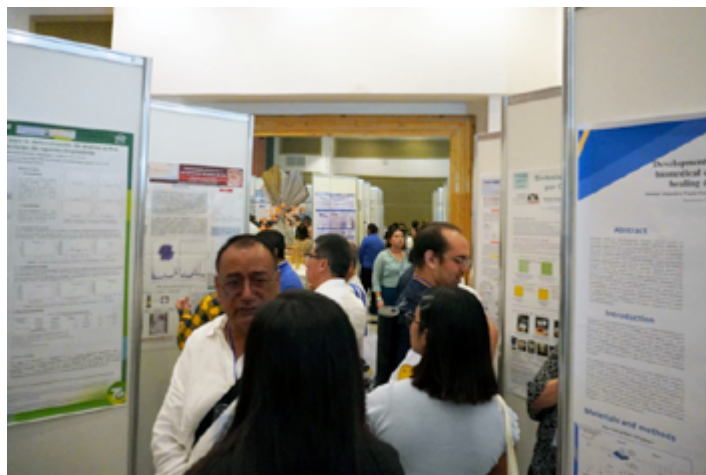



Foto: Sesión de carteles profesionales.

moléculas, metalo-fármacos, modelado molecular, desarrollo sostenible, generación de energía, materiales semiconductores, entre otros. Pero el congreso fue mucho más que solo ponencias y carteles; también, se realizaron dinámicas interactivas, mesas de diálogo, talleres y competencias estudiantiles que fomentaron la participación activa de los asistentes. El programa del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y 5° Congreso Internacional de Educación Química fue sumamente diverso, ofreciendo múltiples oportunidades para el aprendizaje, la discusión y la interacción entre los participantes.

Uno de los principales pilares del evento fueron las conferencias



# Numeralia



- 278 Trabajos programados
- 90 Carteles profesionales
- 71 Carteles estudiantiles
- 117 Presentaciones orales
- 4 Días de actividad
- 8 Conferencias Plenarias
- 5 Conferencias de premios SQM
- 3 Simposios
- 4 Mesa de diálogo/discusión/redonda
- 5 Actividades precongreso (Curso/Taller)
- 40 Ponentes invitados
- 7 Conferencias de Sponsors
- 1 Presentación de libro

- 2 Sesiones de Carteles
- 17 Sesiones Orales
- 2 Actividades con las Secciones Estudiantiles
- 15 Evaluadores del CNCE
- 317 Total congresistas
- 21 Moderadores
- Asistentes de Canadá, Chile, Cuba, Ecuador, Estados Unidos, México
- 43 Becas otorgadas
- 11 Staff Voluntario miembros de las SESQM
- 11 Sponsors
- 13 Stands de Sponsors
- 95 Actividades
- 2 Actividades extracurriculares

congresosqsm.org.mx | www.sqm.org.mx

Numeralia del Congreso Internacional de la Sociedad Química de México.

plenarias, impartidas por destacados académicos y profesionales de la química. Estas ocho charlas abordaron temas de vanguardia, como la integración de la inteligencia artificial en la docencia, el desarrollo de materiales sostenibles y las estrategias innovadoras para fomentar un aprendizaje significativo en las aulas, y además festejamos a la revista Educación Química en su aniversario número 35. Cerramos con la gran participación del Dr. Eusebio Juaristi del Departamento de Química del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados con su plenaria titulada “Algunas Contribuciones a la Estereoquímica Orgánica. La Importancia de aquel Verano de 1970 en los Laboratorios de Syntex” Estas ponencias brindaron a los asistentes una visión panorámica de los desafíos y tendencias que marcarán el futuro de la química.

El congreso ofreció un espacio enriquecedor para el diálogo y la discusión a través de tres simposios y cuatro mesas de diálogo/discusión/redonda. Estos foros permitieron a los asistentes profundizar en temas como los retos de la educación química en contextos diversos, la vinculación con la sociedad y el desarrollo de competencias transversales.

Las secciones estudiantiles también tuvieron un papel preponderante en el congreso, organizando dos actividades de integración sumamente emocionantes. El “Rally Químico” y el juego de “100 Químicos Dijeron” permitieron a los jóvenes poner a prueba sus conocimientos, habilidades y creatividad de una manera lúdica y colaborativa. Estas iniciativas refuerzan el compromiso de la Sociedad Química de México por apoyar el crecimiento y la inserción de los futuros profesionales de la química. Las secciones estudiantiles hoy en día siguen creciendo y tienen un gran papel en estos eventos.

Otro legado importante del evento fue el fortalecimiento de las redes de colaboración entre educadores, investigadores y divulgadores. La presencia de asistentes de Canadá, Chile, Cuba, Ecuador y Estados Unidos, así como la participación de 43 becas otorgadas, evidenciaron el carácter internacional y la vocación de integración del congreso. Estas conexiones transversales serán

fundamentales para impulsar proyectos conjuntos y para abordar los desafíos de la educación química desde una perspectiva global.

Uno de los aspectos más destacables del evento fue el énfasis en la vinculación con la sociedad. Varias de las actividades, como las mesas de diálogo y los talleres de divulgación científica, abordaron la importancia de acercar la química a la ciudadanía y de alinear los esfuerzos educativos con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Esta perspectiva integral demostró que la química no es solo una disciplina académica, sino una herramienta poderosa para abordar los desafíos globales. En el discurso de clausura, la Dra. Denisse Atenea de Loera Carrera resaltó la importancia de estos espacios de encuentro para socializar, dialogar y construir juntos un futuro más sostenible a través de la química. Esta visión unificadora se reflejó a lo largo del congreso, dejando en claro que la educación química no solo es un campo de estudio, sino también una herramienta para transformar positivamente a la sociedad.

El 5° Congreso Internacional de Educación Química fue mucho más que un evento académico. Fue una celebración de la excelencia en la enseñanza y la investigación en educación química, pero también una demostración del poder transformador de esta disciplina cuando se une a la pasión y el compromiso de una comunidad comprometida. A través de un programa diverso y enriquecedor, los participantes tuvieron la oportunidad de explorar nuevas tendencias, intercambiar ideas y forjar vínculos que trascenderán los límites de este encuentro. Desde las conferencias plenarias hasta las actividades precongreso, pasando por las dinámicas estudiantiles y los espacios de diálogo, este congreso se erigió como un foro de reflexión, aprendizaje y acción.

Así, el Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024 y 5° Congreso Internacional de Educación Química dejaron una huella imborrable en la comunidad química. Con la promesa de volvernos a encontrar el próximo año, este evento reafirmó que la química no sólo es una ciencia, sino también un lenguaje universal que nos une en el desafío de construir un mundo más justo, equitativo y sostenible.

# CONCURSO NACIONAL DE CARTELES ESTUDIANTILES

en el marco del *Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024*  
y al *5° Congreso Internacional de Educación Química*  
"Una química para el futuro"

## PRIMER LUGAR

**CIEQ-EDE-CE02**

Experiencias de Divulgación-Educación (EDE)

Angel Guillermo Canul Navarrete  
Universidad Autónoma de Yucatán

*Identificación de las fuentes de alimentación sanguíneas de mosquitos *Aedes aegypti* colectados en Mérida, Yucatán*

## SEGUNDO LUGAR

**CISQM-QMAT-CE01**

Química de Materiales (QMAT)

Jorge Francisco Rauda-Salazar\*, Juan Carlos Gonzales-Carbajal, Salvador Mastachi-Loza, Víctor Varela-Guerrero, María Fernanda Ballesteros-Rivas  
Universidad del Estado de México

*Fluorescencia inducida por la polaridad en derivados de TCNQ: Un nuevo enfoque para sensores químicos*

## TERCER LUGAR

**CIEQ-CCD-CE03**

Cultura, comunicación científica y divulgación de la química (CCD)

Gabriela Amayrani Canche Irabien\*, Dr. Alejandro Ávila Ortega  
Universidad Autónoma de Yucatán

*Importancia de la educación del sargazo en los puertos pesqueros en Yucatán y su impacto en la química para el futuro en la comunidad costera*

# CONCURSO NACIONAL DE CARTELES ESTUDIANTILES

en el marco del *Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2024*  
y al *5° Congreso Internacional de Educación Química*  
"Una química para el futuro"

## MENCIONES HONORÍFICAS

### CISQM-QALI-CE01

Química de Alimentos (QALI)

Jose de Jesus Malagon Flores

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, UNAM

*Evaluación de las propiedades funcionales y el efecto estabilizante de la goma xantana y la goma guar en emulsión del aceite de agua vegana y reducida en grasa*

### CISQM-QMAT-CE06

Química de Materiales (QMAT)

Marisol Blanco Rodríguez\*, Gabriela Tovar, Carlos Jesús Cortés García

Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

*Funcionalización de nanopartículas con estructuras privilegiadas de interés en química medicinal*

### CISQM-QMAT-CE04

Química de Materiales (QMAT)

Julián Alberto Ramos Páez\*, Juan Ramón López López, María de Jesús López López,  
Miguel Aarón Hernández Chávez, Armando Tejeda Ochoa, José Martín Herrera Ramírez,  
Perla Fabiola Méndez Herrera\*

Universidad de Sinaloa

*Caracterización y evaluación de actividad antimicrobiana de nanopartículas de plata biosintetizadas en presencia de extracto de Curcuma longa*

### CIEQ-IED-CE03

Investigación educativa y didáctica de la química en general (IED)

Oliver Isaias Canul Polanco, Biol. Rosal C. Cetina Trejo, Dra. Lourdes G. Talavera Aguilar, Dr.  
Julián E. García Rejón, Dra. Karla I. Acosta Viana, Dr. José I. Chan Pérez, Dr. Wilbert A. Chi  
Chim, Biol. Julio Cesar Tzuc Dzul, Dr. Carlos Marcial Baak Baak, Dra. Nohemi Cigarroa Toledo  
Facultades de Química, Universidad Autónoma de Yucatán

*Aplicación de un programa educativo para evaluación y el mejoramiento del conocimiento entomológico y promover la percepción positiva infantil sobre insectos*



# Sobre Mariana Ortiz y Gabriel E. Cuevas, “Johann Wilhelm Schaffner, Leopoldo Río de la Loza, and elemental analysis in México”. Reseña

Martín Caldera-Villalobos\*

En 1849, Johann Wilhelm Schaffner y Leopoldo Río de la Loza realizaron un viaje a Tenango del Valle para recolectar muestras de pipitzahuac (*Perezia adnata*), una planta usada por los indígenas como purgante y que era objeto de estudio de Río de la Loza. Cuando Schaffner supo que era posible cristalizar el ácido pipitzahico (principio activo extraído de la raíz), propuso a Río de la Loza realizar un análisis elemental de esa sustancia y le presentó la técnica desarrollada por Liebig en Alemania. Con esta hipótesis en mente, Mariana Ortiz Reynoso y Gabriel Eduardo Cuevas González-Bravo se embarcaron en una investigación que presentan en el artículo: “Johann Wilhelm Schaffner, Leopoldo Río de la Loza, and Elemental Analysis in Mexico: Or When Pettiness Eclipses Fortune.”<sup>1</sup>

Aunque la vida y obra de este célebre científico mexicano han sido estudiadas previamente por otros autores, este trabajo resulta especial al responder a la falta de información sobre la relación entre Schaffner y Río de la Loza. Su objetivo es establecer si Río de la Loza accedió a la técnica del análisis elemental de Liebig a través de su interacción con Schaffner. Además, examina las razones por las que el análisis elemental fue abandonado en México y sus consecuencias. Para ello, han revisado un gran número de fuentes, que incluyen tesis académicas, libros, artículos periodísticos y científicos en los que se menciona a Río de la Loza o a Schaffner.

El artículo se adentra en lo que podría ser el momento más relevante de la carrera científica de Leopoldo Río de la Loza: realizar un análisis elemental del ácido pipitzahico. Este compuesto, conocido hoy como *perezona*, fue el primer producto natural aislado en América. También, fue la sustancia sometida al primer análisis elemental realizado en el continente americano. Esta contribución resultó tan innovadora en su época que fue galardonada con una Medalla de Primera Clase por la Sociedad Universal Protectora de las Artes Industriales de Londres en 1856.

<sup>1</sup> Mariana Ortiz Reynoso y Gabriel Eduardo Cuevas González-Bravo, “Johann Wilhelm Schaffner, Leopoldo Río de la Loza, and elemental analysis in Mexico. Or when pettiness eclipses fortune”, *History of Pharmacy and Pharmaceuticals* 64, no. 2 (2023): 154-186.

<sup>2</sup> Algunas lecturas recomendadas son: Pedro Joseph-Nathan, “Homenaje al Doctor Don Leopoldo Río de la Loza en el Bicentenario de su natalicio”, *Boletín de la Sociedad Química de México* 1, (2007): 173-179. María Lozada y Raúl Enríquez, “Perezona, la historia aún no termina”, en *Leopoldo Río de la Loza y su tiempo. La construcción de la ciencia nacional*, ed. Patricia E. Aceves-Pastrana (México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2011), 326-30. Guadalupe Araceli Urbán Martínez y Patricia Elena Aceves Pastrana, “Leopoldo Río de la Loza en la institucionalización de la química mexicana”, *Revista de la Sociedad Química de México* 45, no. 1 (2001): 35-9. Andoni Garriz, “200 aniversario del nacimiento de Leopoldo Río de la Loza” *Educación Química* 18, no. 2 (2007): 99-101.

Fue precisamente este premio lo que, quizás, despertó el celo de los médicos Mariano Ortega, Severiano Pérez y Luis Hidalgo y Carpio, quienes habían estudiado las propiedades purgativas de la resina obtenida de la raíz de pipitzahuac y consideraban que sus méritos habían sido usurpados por Río de la Loza. Posteriormente, emprendieron una intensa campaña de desprestigio contra Río de la Loza, acusándolo de ser una persona corrupta.

Lamentablemente, el exponente más destacado de la química en el México del siglo XIX fue víctima de la difamación y del juicio moral. En opinión de los autores, este pudo haber sido el motivo por el cual Río de la Loza no volvió a poner en práctica el análisis elemental, dejando esta técnica en el olvido, pues tampoco la transmitió a nadie más. Los hallazgos de Mariana y Eduardo indican que tuvieron que pasar alrededor de 90 años para que se realizara un segundo análisis elemental en México. La conclusión a la que llegan los autores es devastadora: Río de la Loza dejó en el olvido el análisis elemental tras recibir insultos y difamación, lo cual impidió la diseminación de la técnica en México y, en consecuencia, el desarrollo de la industria química y farmacéutica en nuestro país.

La lectura de este artículo resulta muy estimulante. Además de revisar la vida y obra de Leopoldo Río de la Loza, también explora las contribuciones de otros científicos notables del siglo XIX que condujeron al desarrollo de la técnica del análisis elemental, como Lavoisier, Berzelius, Gay-Lussac, Thenard, Dumas, Carius y Liebig. El artículo, también plantea que la química orgánica logró establecerse como una disciplina con conocimiento sistemático gracias al análisis elemental, ya que conocer la composición de las sustancias permitió sentar sus bases conceptuales y, en consecuencia, las de la elucidación de la estructura molecular, las reacciones químicas, la isomería y la quiralidad. Asimismo, los autores sugieren que el desarrollo del análisis elemental también condujo al establecimiento de la industria farmacéutica moderna, ya que conocer la composición y la pureza de las sustancias cambió los paradigmas con los cuales se elaboraban y administraban los medicamentos.

De esta forma, el artículo demuestra la relevancia del análisis elemental. Fue una verdadera revolución para la química del siglo XIX. El interés que despertó fue tan grande que muchos estudiantes dejaron sus países de origen para ir a aprender la técnica en Alemania, país donde alcanzó su mayor grado de perfeccionamiento.

\*Universidad Americana del Noreste  
[caldera\\_martin@hotmail.com](mailto:caldera_martin@hotmail.com)

Si bien existe un vasto catálogo de bibliografía relacionada con Leopoldo Río de la Loza<sup>2</sup>, la relevancia de esta investigación reside en su exploración de la relación entre este personaje y Schaffner, la cual ha pasado desapercibida para otros autores. Otra contribución importante de esta investigación es la hipótesis sobre cómo Leopoldo Río de la Loza accedió a la técnica del análisis elemental y las razones por las que la utilizó una única vez en su vida.<sup>3</sup> De esta forma, abordan el tema con un enfoque distinto al de otras publicaciones.

Cabe destacar la redacción de este artículo, que no recurre excesivamente a tecnicismos (ni de química ni históricos). Esto permite una lectura ágil, amena y sobre todo, disfrutable. Asimismo, es importante resaltar el rigor metodológico con el que se realizó la investigación, aportando una gran colección de datos verificados.

De esta manera, el texto es adecuado para una gran variedad de lectores: estudiantes de química, farmacia, bachillerato, profesionales, curiosos de la historia y público en general. Además de ser un texto informativo, podría utilizarse en el aula para comprender el surgimiento de la química orgánica y su relevancia.

En conclusión, el estudio de este texto resulta imprescindible para el análisis de la historia de la química en México. No solo repasa las contribuciones del químico mexicano más notable del siglo XIX, sino que también lo sitúa en un contexto más amplio que abarca sus relaciones y paralelismos con otros científicos contemporáneos, permitiéndonos comprender la relevancia del personaje y, en especial, de la técnica del análisis elemental.

<sup>3</sup> Los trabajos de Río de la Loza alrededor de la química médica siguieron por otros veinte años. Aunque llegó a tener algunos hallazgos interesantes, se esforzó especialmente en estar actualizado sobre lo que se descubría en el mundo científico y promovió su aplicación inmediata en México. Carlos Viesca T. y María Blanca Ramos de Viesca, "Leopoldo Río de la Loza y la química médica", en *Leopoldo Río de la Loza y su tiempo. La construcción de la ciencia nacional*, ed. Patricia E. Aceves-Pastrana (México: Universidad Autónoma Metropolitana, 2011), 255.

**Edición Fascimular**

SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.

**Introducción al Estudio de la Química 1849**

**Dr. Leopoldo Río de la Loza**

Adquiere tu ejemplar con nosotros  
55 5662 6837 ó 55 5662 6823  
soquimex@sqm.org.mx

La química nos une

f i y t s





La sobreexplotación de los recursos naturales y el desarrollo tecnológico que se han requerido para alimentar y satisfacer las necesidades de los más de 8,000 millones de personas que habitan el planeta, han ocasionado, entre otros problemas, la contaminación del aire y el cambio climático, los cuales tienen efectos nocivos en todos los seres vivos y en el medio ambiente. Para enfrentar el reto del desarrollo sostenible, la gestión de los recursos, de la energía y del desarrollo urbano y el tecnológico, se requiere de la preparación e información de la mayoría de las acciones involucradas sobre las exigencias y propiedades de las especies que contaminan el aire y que aceleran el cambio climático. Este libro profundiza en el conocimiento de las características y comportamiento químico de cada contaminante atmosférico, por lo que será de utilidad no solamente para profesionales y estudiantes desde los cursos más avanzados de nivel medio superior, hasta el nivel superior y de posgrado en disciplinas de ciencia e ingeniería, sino también para aquellos profesionales dedicados a la gestión y control de la calidad del aire y para personas interesadas en el tema.

Este texto, editado por la Sociedad Química de México, aborda las propiedades fisicoquímicas y el comportamiento químico de los contaminantes atmosféricos, desde su emisión y sus interacciones con otras especies en el aire, hasta su destino final. Se profundiza tanto en los seis contaminantes criterio seleccionados por las diferentes agencias gubernamentales en el mundo, para ser monitoreados de manera continua con el fin de preservar la salud de los habitantes de las zonas urbanas, como en los contaminantes climáticos o forzadores radiativos que han causado la intensificación del efecto invernadero y el cambio climático. Asimismo, se presenta información sobre especies tóxicas contenidas en las partículas y de compuestos orgánicos volátiles que son precursores de la formación del ozono. En todos los capítulos de este libro, ejemplos que investigados en el tema, se llevó a cabo una amplia revisión de las publicaciones científicas recientes sobre cada especie contaminante, no solamente de sus propiedades químicas y su comportamiento en la atmósfera, sino de su reactividad, sus fuentes, sus emisiones y concentraciones globales, así como de la química involucrada en los datos que provocan a la salud y al medio ambiente, en los métodos de detección y monitoreo y, finalmente, en las disminuciones alcanzadas por el uso de tecnologías, por lo que se incluyen también tres capítulos sobre las partículas y lignos en el control químico de varios contaminantes críticos.

# Química de los contaminantes atmosféricos

Violeta Mugica Álvarez  
Editora



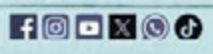
## PREVENTA

**\$300.00 M.N.**

**Química de los Contaminantes Atmosféricos**  
**Editora: Dra. Violeta Mugica Álvarez**

Más información de como adquirir el libro:  
Tel: 55 5662 6837 / 55 5662 6823 o al correo [soquimex@sqm.org.mx](mailto:soquimex@sqm.org.mx)

*La química nos une*





# Uso de técnicas estadísticas en el estudio de la corrosión e integridad mecánica en ductos de la industria petrolera

J.C. Velázquez-Altamirano<sup>1\*</sup>, N.E. González-Arévalo<sup>2</sup>, R. Cabrera-Sierra<sup>1</sup>, G. Terán-Méndez<sup>3</sup>

## Resumen

Debido a que el fenómeno de corrosión es un proceso espontáneo de la electroquímica, solo es posible mitigar su velocidad mediante técnicas como protección catódica, inhibidores o aplicación de recubrimientos. Existe la necesidad de pronosticar de manera anticipada el deterioro de estructuras como los ductos que transportan hidrocarburos. Asimismo, es necesario determinar cuáles son las variables del fenómeno de corrosión que tienen mayor influencia para así focalizar de manera óptima los recursos económicos y técnicos. En este contexto, el presente trabajo detalla ejemplos de aplicación del uso de regresiones no lineales para modelar el crecimiento de defectos de corrosión. Estos modelos son utilizados satisfactoriamente para determinar qué variables influyen más en el fenómeno. Concluyendo que la temperatura y el pH son las variables de mayor peso.

## Abstract

Because the corrosion phenomenon is a spontaneous electrochemical process, its deterioration rate can only be mitigated by techniques such as cathodic protection, corrosion inhibitors or coatings. However, there is a need to predict the structures' deterioration in advance, as in the case of pipelines that transport hydrocarbons. It is also necessary to determine which of all the variables involved in corrosion are the most influential to focus economic and technical resources optimally. In this context, this paper details examples of non-linear regression to model the

growth of corrosion defects. These models are successfully used to determine which variables influence the phenomenon the most. In conclusion, temperature and pH are the variables on which one should focus the most.

## 1. Introducción

La corrosión es un fenómeno ampliamente estudiado por su impacto económico, al medio ambiente y a la seguridad. Es importante recordar que el petróleo y el gas son extraídos del subsuelo y que todos los subproductos no energéticos son separados de los hidrocarburos en primera instancia para que, posteriormente en la refinación estos hidrocarburos sean separados de acuerdo a sus diferentes propiedades. Entre las fuentes donde se extraen los hidrocarburos y los consumidores finales hay una amplia red de infraestructura y equipos de proceso (ductos, separadores, bombas, compresores, tanques, torres de destilación, intercambiadores de calor, etc.). Un trabajo de investigación realizado por Koch y colaboradores indica que los costos derivados de daños por corrosión en la industria petrolera de Estados Unidos repercuten principalmente en el transporte por ductos y en el almacenamiento de hidrocarburos (alrededor de 7 mil millones de dólares).<sup>1</sup> La Figura 1 ilustra esta distribución de costos.

Específicamente, en el transporte de hidrocarburos por ductos Koch y colaboradores indican que en Estados Unidos el costo anual por corrosión puede alcanzar hasta 8500 millones de dólares.<sup>1</sup> De esta cantidad de dinero, la mayoría (52%) se destina al área de mantenimiento y operación. La Figura 2 muestra cómo se distribuyen estos costos en diferentes áreas del sector.

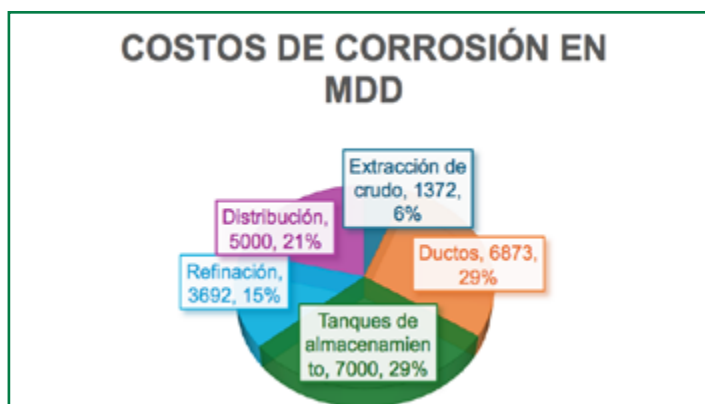


Figura 1. Distribución de costos por corrosión en la industria petrolera de Estados Unidos con información de Koch y colaboradores.<sup>1</sup>

## COSTOS DE CORROSIÓN EN EL SECTOR DE DUCTOS

■ Costo de capital ■ Operación y mantenimiento ■ Costo de fallas

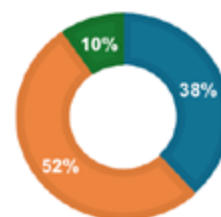


Figura 2. Distribución de costos de corrosión en la industria de ductos con información de Koch y colaboradores.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ingeniería Química Industrial, ESIQIE, IPN

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales, ESIQIE, IPN

<sup>3</sup>Departamento de Metalurgia, CECYT 2, IPN

\* [jvelazqueza@ipn.mx](mailto:jvelazqueza@ipn.mx)

En otro trabajo de investigación realizado por Christian P. Vetter y colaboradores,<sup>2</sup> se concluye que, según datos de la oficina de Administración de Seguridad de Materiales Peligrosos y Tuberías,<sup>3</sup> el 34% de los incidentes peligrosos ocurrieron debido a fallas por corrosión en ductos que transportan hidrocarburos. Un estudio similar hecho con datos de la provincia de Alberta, Canadá, determinó que el 57.7% de las fallas ocurrieron debido a problemas causados por la corrosión interna y el 12% por corrosión externa.<sup>4</sup> En México, un estudio realizado por Francisco Caleyo y colegas concluyó que el 65.8% de las fallas en ductos ocurrió por deterioro causado por la corrosión externa y el 14.5% fue causado por corrosión interna, causando principalmente fugas pequeñas debido a las picaduras generadas en la superficie externa.<sup>5</sup> Por tal motivo, es posible afirmar que la corrosión es la principal amenaza para los ductos que transportan hidrocarburos y que el costo derivado de esta amenaza puede ser considerable, respecto al presupuesto total de la industria de ductos.

La energía libre de Gibbs juega un papel importante en la corrosión, ya que explica la espontaneidad de las reacciones electroquímicas de reducción-oxidación. Es decir, estas reacciones ocurren de forma natural sin influencia externa. Por eso, las formas tradicionales de alterar, evitar o reducir la ocurrencia de estas reacciones electroquímicas es mediante un recubrimiento, un inhibidor o protección catódica. Aunque estos métodos reducen significativamente el daño por corrosión en ductos que transporten hidrocarburos, no lo eliminan en su totalidad. Por lo tanto, dimensionar adecuadamente los defectos generados por la corrosión o pronosticar las dimensiones futuras resulta indispensable para administrar la seguridad de las tuberías. Debido a lo descrito anteriormente, una herramienta utilizada para hacer estimaciones futuras sobre el tamaño de defectos de corrosión y determinar la presión operación segura a la cual pueden operar los ductos es la estadística. En el presente artículo se explican diversos usos de la probabilidad y estadística en el estudio de la corrosión en ductos y que han sido aplicados con éxito.

## 2. Metodología

Para poder ejemplificar el uso de la estadística en estudios de corrosión e integridad de ductos es necesario contar con información. A continuación, se describe la naturaleza de los datos utilizados en cada ejemplo de aplicación mostrado en el presente artículo.

- **Modelación de Corrosión por Picadura en tuberías enterradas.** En esta sección, se tomaron datos de inspección de ductos, que el dueño (Petróleos Mexicanos) facilitó para su análisis estadístico. Se tomaron muestras de suelo alrededor de las tuberías estudiadas para su posterior análisis en laboratorio.
- **Modelación de corrosión por picadura en aceros de tuberías que transportan aguas congénitas.** A partir de información de propiedades de aguas congénitas proporcionada por el dueño, se generaron soluciones que simulan las características del agua congénita transportada por los ductos en México. A partir de estas soluciones se hicieron pruebas de inmersión para conocer el efecto de estas sustancias en la generación de defectos por corrosión.
- **Análisis de las variables de mayor influencia en el crecimiento de defectos de corrosión.** Un uso práctico

a los modelos obtenidos en las secciones anteriores es determinar que variables utilizadas en la modelación tienen mayor influencia en el crecimiento de defectos de corrosión, esto puede ayudar a enfocar los esfuerzos técnicos y económicos en el monitoreo de ciertas variables.

- **Uso del ajuste de histogramas de datos experimentales en funciones de densidad de probabilidad.** En esta sección se usaron tanto datos de campo como obtenidos en laboratorio. Se usaron los datos de las características del suelo obtenidos en la sección de modelación para ajustarlos a diferentes histogramas. También se utilizaron datos de diámetros de tuberías para conocer la distribución de tamaños de ductos que transportan hidrocarburos en el sureste mexicano. Finalmente, se usaron datos de histogramas de dureza, cedencia y esfuerzo último a la tensión para ejemplificar el ajuste de histogramas a funciones de probabilidad.

## 3. Modelación de Corrosión por Picadura en tuberías enterradas

Los primeros usos de la probabilidad y la estadística como herramienta para el estudio de la corrosión datan de la década de los 1930.<sup>6</sup> Pero fue hasta la década de 1950, cuando Aziz utilizó por primera vez funciones de probabilidad para estudiar las picaduras generadas en placas de aluminio.<sup>7</sup> Igualmente, en la década de 1950, Romanoff comenzó a estudiar la corrosión de piezas metálicas enterradas en diferentes suelos de Estados Unidos.<sup>8</sup> De aquí surge la pregunta: ¿por qué se usa la probabilidad y estadística en estudios de corrosión? Para explicarlo, hay que recordar las reacciones electroquímicas de la corrosión de acero:

Reacción de oxidación:



Reacción de reducción en un suelo básico o neutro:



Reacción de reducción en un suelo ácido:



Estas son reacciones elementales que ocurren en el acero, pero las condiciones en la vida real son mucho más variadas y complejas porque existen otras variables que influyen en el deterioro, por ejemplo: la temperatura, el pH, el contenido de iones cloruro, carbonato, bicarbonato, factores microbiológicos, factores metalúrgicos, etc. La interacción de todas estas variables hace muy complicado estudiar el fenómeno de corrosión solamente mediante reacciones electroquímicas. Es por eso que es de gran utilidad el uso de técnicas estadísticas. Como ejemplo de ello, a continuación, se explicará cómo los modelos obtenidos mediante técnicas estadísticas permiten calcular con un grado de error reducido la profundidad de defectos causados por la corrosión.

Una aplicación práctica fue llevada a cabo en México, específicamente en los estados de Tabasco y Chiapas, donde algunos ductos fueron inspeccionados usando un medidor de picaduras (*pit gauge*). Se registró el tiempo que tiene en servicio la tubería estudiada y el tipo de recubrimiento que la protege. Así mismo, se tomaron muestras de suelo localizado alrededor de la tubería para determinar el pH, contenido de cloruros, sulfatos,

Tabla 1. Características del suelo analizado.

	Potencial redox (V)	pH	Potencial (mV)	Resistividad ( $\Omega - m$ )	% H <sub>2</sub> O	Densidad suelo (g/L)	Iones Cl <sup>-</sup> (ppm)	Iones HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (ppm)	Iones SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> (ppm)
Símbolo	rp	pH	pp	re	wc	bd	cc	bc	sc
Media	0.167	6.13	-880	50.2	23.9	1.30	47.7	19.6	153
Varianza	6.40E-03	0.86	57600.00	3127.05	43.56	0.01	5640.01	640.09	28257.61

carbonatos y bicarbonatos. Posteriormente, se determinó la textura del suelo para conocer el contenido de arena, arcilla y limo que tiene el sustrato. Finalmente, se midió el potencial de protección catódica. La resistividad también fue medida usando el método de las cuatro puntas. La Figura 3 ilustra como lucen los tubos al ser desenterrados para medir los defectos de corrosión y tomar las muestras de suelo. El total de muestras tomadas fue de 259.

Los resultados de las características del suelo estudiado se muestran en la Tabla 1, donde se puede observar que la mayoría de los suelos en la región estudiada son ligeramente ácidos, ácidos y tienen un contenido moderado de iones cloruro, el promedio los ductos estudiados están en un nivel adecuado de protección catódica (-0.85 V) según la literatura.<sup>9</sup> La Tabla 2 muestran los resultados de medir la profundidad de picadura y los tiempos de



Figura 3. Aspecto de una tubería al ser desenterrada. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Características de las tuberías estudiadas y de la profundidad máxima medida de los defectos de corrosión.

	Tiempo en Servicio (años)	Profundidad máxima (mm)
Símbolo	t	y <sub>max</sub>
Media	22.9	2.02
Máximo	50.00	13.44
Mínimo	5.00	0.41
Varianza	82.81	4.20

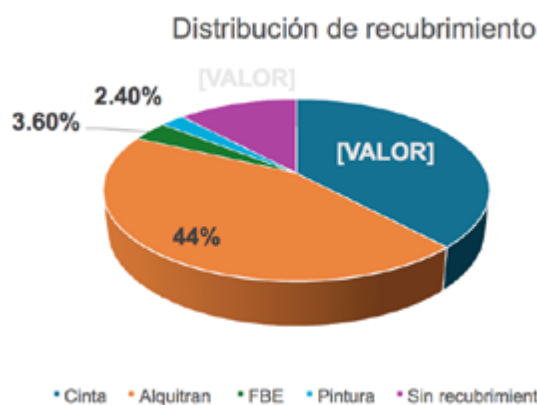


Figura 4. Distribución de recubrimientos en los ductos inspeccionados.

operación de los ductos. La distribución de tipos de recubrimiento encontrado en los ductos inspeccionados en el presente trabajo se muestra en la Figura 4.

Con estos datos y sabiendo que el crecimiento de defectos de corrosión en estructuras enterradas es no lineal, específicamente de tipo exponencial como lo indican otros trabajos de investigación.<sup>8,10,11</sup> El modelo no lineal general de crecimiento de defectos de corrosión propuesto es el siguiente:

$$y_{max} = \kappa(t - t_0)^n \quad (4)$$

Donde  $t$  es el tiempo desde la construcción del ducto,  $t_0$  es el tiempo que tarda en hacer daño la corrosión,  $\kappa$  es la constante de proporcionalidad y  $n$  es el factor de forma de crecimiento de los defectos de corrosión. El modelo de la Ecuación (4) puede sofisticarse lo suficiente para que incluya las características del suelo estudiadas y el tipo de recubrimiento. Para ello, el parámetro  $\kappa$  y  $n$  se relacionan con dichas características. Entonces la Ecuación (4) puede ajustarse y convertirse en la Ecuación (5).

$$y_{max} = (\kappa_0 + \sum_{i=1}^n \kappa_i x_i)(t - t_0)^{(n_0 + \sum_{j=1}^n n_j x_j)} \quad (5)$$

Donde  $x_i$  y  $x_j$  son las variables independientes medidas (las características del suelo),  $\kappa_i$  y  $n_j$  son los parámetros de regresión y  $t_0$  también es considerado un parámetro de regresión. Para poder incluir el tipo de recubrimiento, se asignó un puntaje a cada uno de los recubrimientos encontrados. Dicho puntaje está listado en la Tabla 3.



**Tabla 3.** Puntaje asignado a cada tipo de recubrimiento.

Recubrimiento (ct)	Puntaje
Sin recubrimiento	1.0
Pintura asfaltada	0.9
Cinta	0.8
Alquitrán	0.7

De la lista de datos obtenidos en el muestreo en campo (259), se hizo una eliminación de datos espurios con las técnicas diagrama de caja, residual estandarizado y distancias de Cook. Del total de datos, nueve fueron clasificados como espurios y eliminados de la base de datos. Con los 250 restantes, se hizo el análisis de regresión para encontrar los parámetros  $K_i$  y  $n_j$ . Al ser 10 variables independientes, considerando el tipo de recubrimiento (listadas en la Tabla 1), se tienen que realizar 1024 posibles combinaciones. Esto se calculó determinando el número de subconjuntos de 10 elementos ( $2^{10}$ ). De estas combinaciones, se seleccionó como la más representativa la que tuviera el mayor valor de  $R^2$ , en este caso, el mejor modelo presentó un valor de  $R^2 = 0.87$ . El mejor modelo seleccionado es el mostrado en la Ecuación (6):

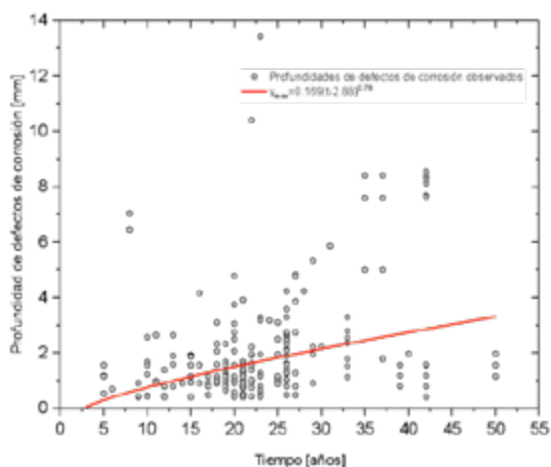
$$y_{\text{max}} = (K_0 + K_1TP + K_2PH + K_3RE + K_4CC + K_5bc + K_6SC)(t - t_0)^{n_0 + n_1TP + n_2WC + n_3bd + n_4ct}$$

(6)

De acuerdo con la Ecuación (6) la constante de proporcionalidad está en función del potencial redox, pH, resistividad, contenido de cloruros, bicarbonatos y sulfatos. Mientras que el factor de forma en función del potencial suelo-tubo, contenido de agua del suelo, densidad del suelo y tipo de recubrimiento. Los valores de estos parámetros de regresión se muestran en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de los parámetros de regresión obtenidos para la Ecuación (6).

Parámetro	$K_0$	$n_0$	$K_1$	$K_2$	$K_3$	$K_4$	$K_5$	$K_6$	$n_1$	$n_2$	$n_3$	$n_4$	$t_0$
Valor	6.08	8.96	-1.80	-6.54	-2.60	8.74	-6.39	-1.22	5.19	4.65	-9.90	4.31	2.88
	E-01	E-01	E-04	E-02	E-04	E-04	E-04	E-04	E-01	E-03	E-02	E-01	



**Figura 5.** Evolución del crecimiento de defectos de corrosión a condiciones promedio.

La Figura 5 se muestra con el propósito de ilustrar como los datos de profundidades de defectos de corrosión obtenidos a diferentes tiempos de vida útil de los ductos pueden ser representados satisfactoriamente a condiciones promedio, descritas en la Tabla 1, con la Ecuación (6), quedando la constante  $K = 0.164$  y  $n = 0.78$ . Con el propósito de compartir información del presente trabajo de investigación, la base de datos completa fue publicada en un trabajo del 2010 de Velázquez *et. al.*<sup>12</sup>

#### 4. Modelación de corrosión por picadura en aceros de tuberías que transportan aguas congénitas

La misma filosofía de modelación utilizando regresiones no lineales, puede ser utilizada para estudiar el crecimiento de defectos de corrosión. En este caso se modela el crecimiento de defectos de corrosión causado por el manejo de aguas congénitas en ductos mexicanos. El agua congénita es un término usado en la industria petrolera para describir el agua como subproducto de la extracción del petróleo o del gas natural.<sup>13</sup> En el presente caso, se tomaron 41 muestras de diferentes zonas en los estados de Veracruz, Chiapas y Tabasco para analizar las características químicas de esta sustancia. El muestreo de tamaño de defecto de corrosión y de suelos fue realizado entre los años 2006 y 2010. Las características químicas analizadas se muestran en la Tabla 5.

De estas variables estudiadas, se generaron soluciones sintéticas que tengan las mismas características químicas de las muestras tomadas. Se generaron 171 soluciones sintéticas con las características mostradas en la Tabla 6 (ver Tabla 5 para significado de símbolos). Posteriormente se realizaron pruebas de inmersión utilizando un acero API 5L X60. En la misma Tabla 6, se indica también en la última columna los datos estadísticos de los tiempos de inmersión.

**Tabla 5.** Características estudiadas en las muestras de agua congénita.

Característica estudiada	Símbolo	Unidades
pH	pH	
Potencial redox	Re	mV
Conductividad	$\Omega$	mS/cm
Presión parcial de $CO_2$	pco	Bar
Contenido de carbonatos	cac	ppm
Contenido de sulfatos	soc	ppm
Contenido de cloruros	clc	ppm
Contenido de ácido acético	acc	mL
Temperatura	T	$^{\circ}C$

Tabla 6. Descripciones de las variables de usadas para generar las muestras de agua congénita sintética.

	pH	Re	$\Omega$	pco	cac	soc	clc	acc	T	t
Promedio	7.39	111	30.4	1.28	3631	4356	5246	0.99	47.2	13.9
Varianza	2.64	2721.71	126.52	0.21	8228234.88	10959807.51	8324956.09	0.28	174.66	86.73
Mínimo	3.29	-98.8	2.74	0.2	13.4	20.7	164	0.1	20	1
Máximo	9.19	300	57.6	2	9811	9992	9952	1.89	79	30

Después de tener las probetas de acero inmersas por diferentes tiempos (rango entre 1 y 30 días). Se midió la profundidad de picadura de cada una de las 171 pruebas realizadas. En cada prueba se pusieron a inmersión dos cupones de acero. Los datos de profundidad de defectos de corrosión generados fueron ajustados a una distribución generalizada de valores extremos (GEVD) detallada en la Ecuación (7).<sup>14,15</sup> La Figura 6 ilustra el histograma de las profundidades de picadura medidas y posteriormente ajustadas a una GEVD.

$$GEV(x) = \begin{cases} \frac{1}{\xi} \exp\left(-\frac{1}{\xi}z\right) (1+\xi z)^{-1-\frac{1}{\xi}}, & \xi \neq 0 \\ \frac{1}{b} \exp(-z - \exp(-z)), & \xi = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Donde  $z \equiv \frac{x-a}{b}$ ; mientras  $a$  y  $b$  son los parámetros de localización y escala;  $\xi$  es el parámetro de forma.

Una vez teniendo todos los datos de profundidades de picadura y características físicas y químicas de las soluciones de agua congénita sintética se procedió a hacer un análisis de regresión con la Ecuación (6). En este caso, el tiempo de inicio de crecimiento de defectos es cero ( $t_0 = 0$ ), es decir, que el inicio de crecimiento

de defectos es prácticamente al instante de la inmersión. Debido al número de variables independientes, se hicieron 512 análisis de regresión y se seleccionó el modelo de mayor valor de  $R^2$ . De esta forma la Ecuación (6) toma la forma mostrada en la Expresión Matemática (8). Los coeficientes de regresión quedarían como se muestra en la Tabla 7.

$$y_{max} = (K_{00} + K_{11}t + K_{22}pco + K_{33}soc + K_{44}clc + K_{55}acc + K_{66}re)(t)^{n_{11} + n_{22}pH + n_{33}cac + n_{44}T} \quad (8)$$

Con el propósito de ilustrar la representatividad del modelo encontrado, la Figura 7 muestra los valores de profundidad de picadura y el modelo de la Ecuación (8) a condiciones promedio.

### 5. Análisis de las variables de mayor influencia en el crecimiento de defectos de corrosión

Una de las aplicaciones de mayor utilidad para el mantenimiento de ductos que pueden dar estos modelos es la identificación de las variables que más influyen en el crecimiento de defectos de corrosión. Esto porque permite focalizar recursos técnicos, humanos y económicos para controlar, monitorear y mitigar estás

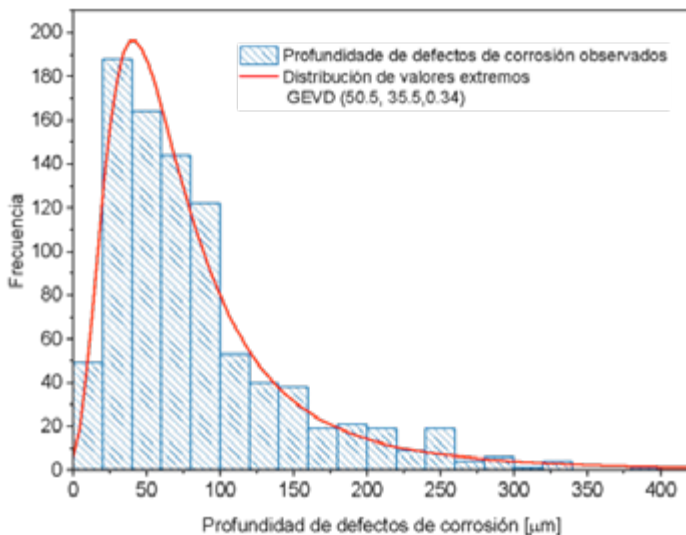


Figura 6. Histograma de profundidades de picadura y su ajuste a una distribución generalizada de valores extremos con los parámetros  $a = 50.5$ ,  $b = 35.3$  y  $\xi = 0.34$ .

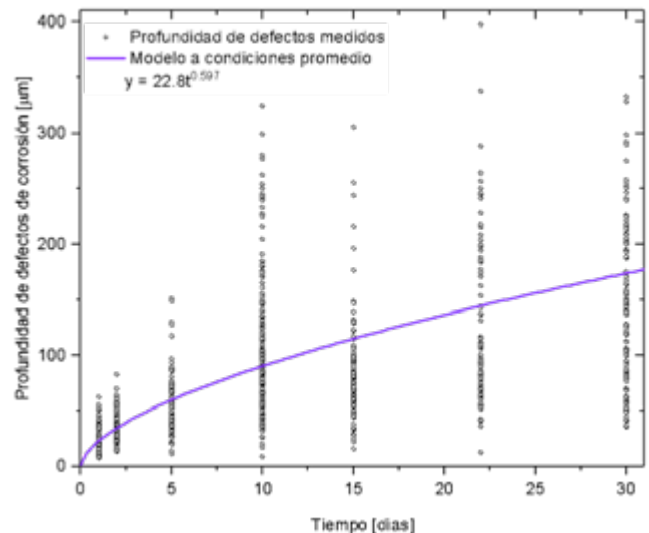


Figura 7. Profundidades de defectos observados en función del tiempo de inmersión.

Tabla 7. Valores de los parámetros de regresión obtenidos para la Ecuación (8)

Parámetro	$K_{00}$	$n_{00}$	$K_{11}$	$K_{22}$	$K_{33}$	$K_{44}$	$K_{55}$	$K_{66}$	$n_{11}$	$n_{22}$	$n_{33}$
Valor	2.9	0.68	7.6E-03	-1.01E-03	-7.90E-06	2.4E-06	2.2E-02	8.1E-04	6.2E-02	-2.7E-06	5.5E-03

variables. Para ello, se realizó un análisis de sensibilidad, usando los modelos de la Ecuaciones (6) y (8), respectivamente. En estos modelos se varia proporcionalmente el cambio de propiedades y se cuantifica el efecto en el cambio de profundidad de defecto de corrosión. Esto se ilustra en las Figuras 8 y 9, para corrosión en suelos y corrosión en aguas congénitas.

De las Figuras 8 y 9 podemos observar que, para las tuberías enterradas, las variables más importantes a ser monitoreadas y vigiladas son: pH, potencial de protección catódica, contenido de agua y contenido de cloruros. Esto se debe a que son las variables que en el gráfico de sensibilidad muestran mayor pendiente. En el caso de corrosión en aguas congénitas, las variables que más influyen en el proceso son: pH, temperatura, y conductividad del medio.

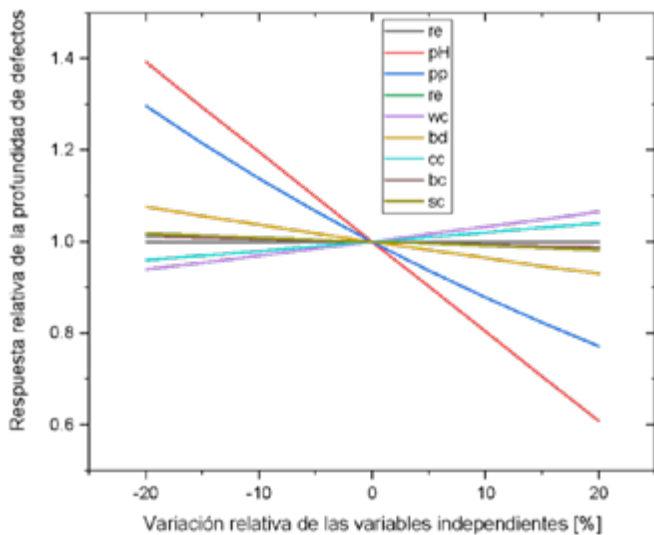


Figura 8. Análisis de sensibilidad para el modelo relacionado con la corrosión en suelos (ver Ecuación (6) y Tabla 1).

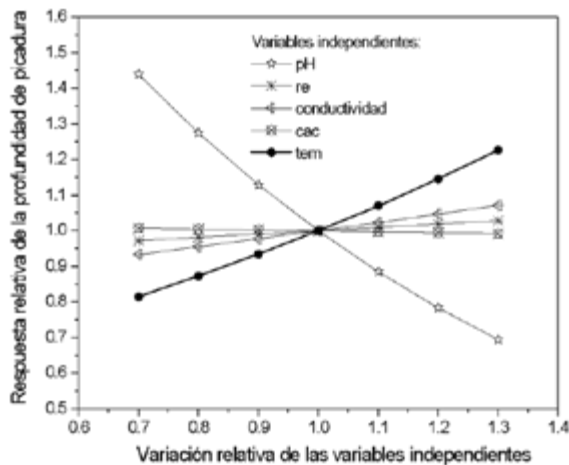


Figura 9. Análisis de sensibilidad para el modelo relacionado con la corrosión en aguas congénitas (Ecuación (8)).

## 6. Uso del ajuste de histogramas de datos experimentales en funciones de densidad de probabilidad

Aprovechando la información colectada de las características físicas y químicas de los suelos estudiados para la modelación de profundidades de defectos de corrosión, los datos de cada variable estudiada fueron ajustados a diferentes funciones de densidad de probabilidad. Estas funciones fueron LogNormal, Normal, Gumbel y Uniforme; las expresiones matemáticas de estas funciones se muestran en la Ecuaciones (9), (10), (11) y (12), respectivamente.<sup>16</sup>

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right)}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (9)$$

$$f(x) = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2\right)}{\sigma\sqrt{2\pi}} \quad (10)$$

$$f(x) = \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma} - \exp\left(-\frac{x-\mu}{\sigma}\right)\right) \quad (11)$$

$$f(x) = \frac{1}{b-a} \quad (12)$$

Donde  $\mu$  es el parámetro de localización,  $\sigma$  es el parámetro de escala, y por último  $a$  y  $b$  son los parámetros de la función de distribución uniforme. En todos los casos se ajustaron los datos observados a cada una de las funciones antes mencionadas usando la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Sminorv para confirmar que la distribución teórica representa con cierto grado de confianza el histograma de los datos.<sup>17</sup> En este contexto, las distribuciones de probabilidad que mejor ajustaron a cada una de las variables estudiadas se presenta en la Tabla 8.

Otra aplicación del ajuste de datos, puede ser hecha para determinar el diámetro de tuberías en algún activo o zona determinada. Esto puede ser útil para visualizar el rango de diferentes tamaños de tuberías y decidir que tamaños de tuberías son los más usados y

Tabla 8. Ajuste estadístico de los datos observados en el estudio de corrosión externa de tuberías enterradas.

Variable	Función de densidad de probabilidad con sus respectivos parámetros
Resistividad	Lognormal (50,2931)
Sulfatos	Lognormal (154, 25328)
Bicarbonatos	Lognormal (19, 436)
Cloruros	Lognormal (41, 3135)
Contenido de agua	Normal (24,38)
pH	Gumbel (6.13, 0.84)
Potencial suelo-tubo	Normal (-860, 0.04)
Densidad del suelo	Normal (1.3, 0.007)
Potencial redox	Uniforme (2.14, 348)
Profundidad de defectos de corrosión	GEVD (0.42, 0.73, 1.08)



organizar así el almacenamiento de tubos y accesorios. La Figura 10, ilustra un histograma de diámetro de tuberías de extracción de petróleo y gas en la región sur de México.

Debido a las diversas heterogeneidades que puede presentar un acero debido a la densidad de inclusiones, tamaño de grano, elementos aleantes y micro-aleantes, tratamientos térmicos, etc. Las propiedades mecánicas de un acero pueden presentar cierta incertidumbre. Por ejemplo, las Figuras 11, 12 y 13 ilustran cómo es posible ajustar datos observados en las pruebas de tensión y dureza de un acero API 5L Grado B a una distribución generalizada de valores extremos (ver Ecuación (7)).<sup>18</sup>

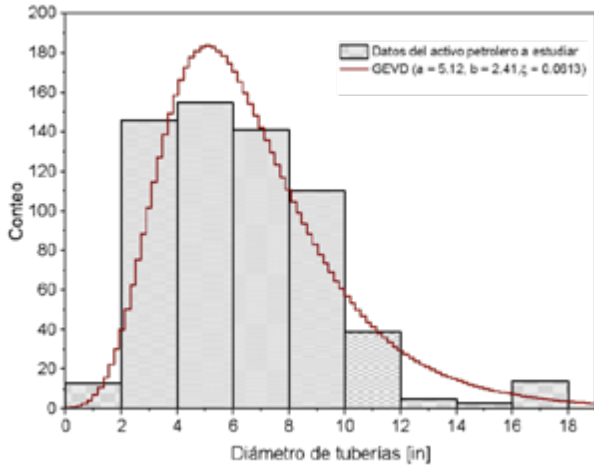


Figura 10. Datos de diámetros de tuberías ajustados a una distribución generalizada de valores extremos.

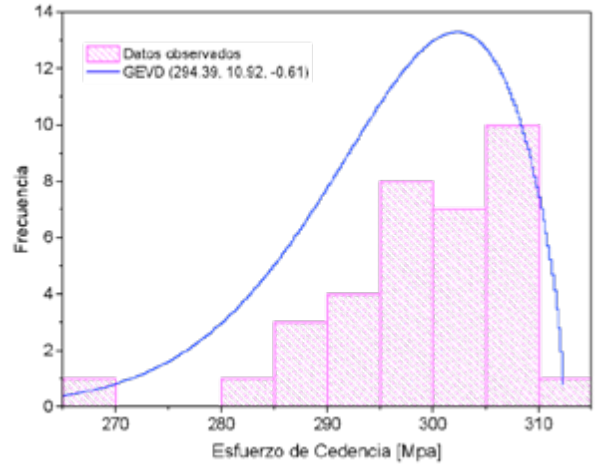


Figura 12. Histograma del esfuerzo de cedencia (YS) del acero API 5L Grado B ajustado a una función de densidad de probabilidad.

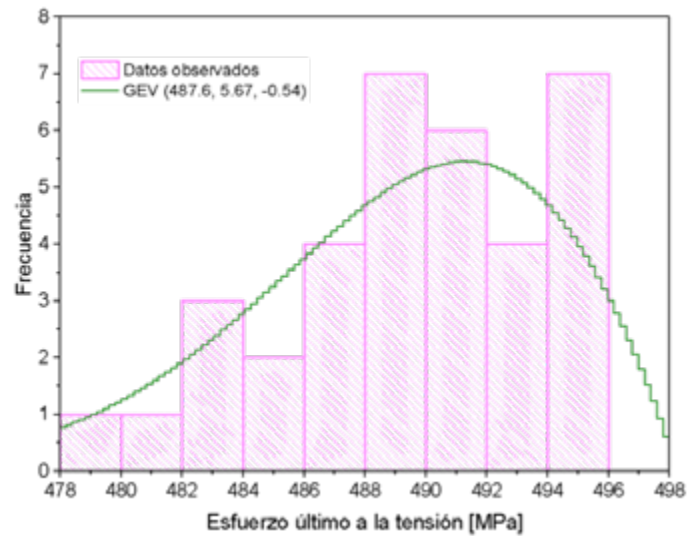


Figura 13. Histograma del esfuerzo máximo a la tensión (UTS) del acero API 5L Grado B ajustado a una función de densidad de probabilidad.

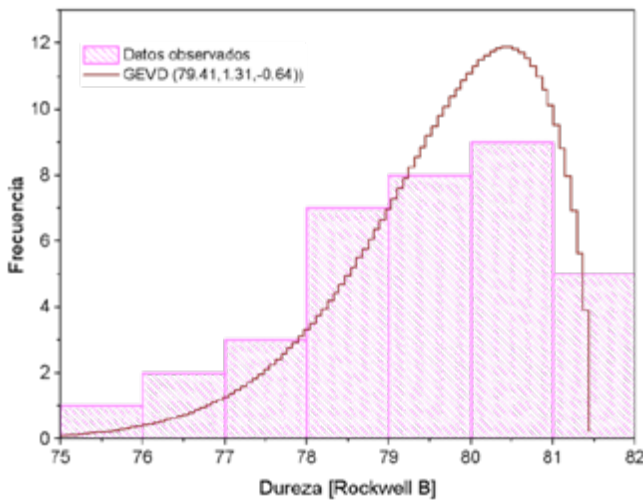


Figura 11. Histograma de dureza del acero API 5L Grado B ajustado a una función de densidad de probabilidad.

## 7. Conclusiones

- Mediante técnicas de regresión no lineal es posible modelar el crecimiento de la profundidad de defectos de corrosión. Para realizarlo es necesario tener datos de las características físicas y químicas del suelo o del fluido que se transporta en los ductos.
- Los modelos obtenidos mediante regresión no lineal son de utilidad para realizar análisis de sensibilidad. Esto puede ser útil para determinar que variables son las más influyentes, y con ello enfocar los recursos en el control y monitoreo de estas variables.
- Se confirma que las profundidades de defectos de corrosión no crecen de forma lineal.
- El pH se ratifica como la variable de mayor influencia en el crecimiento de defectos de corrosión.
- Mediante funciones de densidad de probabilidad se puede representar la naturaleza aleatoria del fenómeno de corrosión y de las propiedades mecánicas del acero.

## Conflicto de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés

## Referencias

1. Koch, G. H.; Brongers, M. P. H.; Thompson, N. G.; Virmani, Y. P.; Payer, J. H. *Corrosion Cost and Preventive Strategies in the United States*; 2002.
2. Vetter, C. P.; Kuebel, L. A.; Natarajan, D.; Mentzer, R. A. Review of Failure Trends in the US Natural Gas Pipeline Industry: An in-Depth Analysis of Transmission and Distribution System Incidents. *J. Loss Prev. Process Ind.* **2019**, *60*, 317–333. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2019.04.014>.
3. US Department of Transportation. Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration <https://www.phmsa.dot.gov/>.
4. Nascimento, E. Impact of Corrosion in the Oil and Gas Industry. *Coatings for Anti-corrosion Applications*. 2014.
5. Caleyó, F.; Alfonso, L.; Alcántara, J.; Hallen, J. M. On the Estimation of Failure Rates of Multiple Pipeline Systems. *J. Press. Vessel Technol.* **2008**, *130* (2). <https://doi.org/10.1115/1.2894292>.
6. Evans, U. R.; Mears, R. B.; Queneau, P. E. Corrosion-Velocity and Corrosion-Probability. *Engineering* **1933**, *136* (1933), 689.
7. Aziz, P. M. Application of the Statistical Theory of Extreme Values To the Analysis of Maximum Pit Depth Data for Aluminum. *CORROSION* **1956**, *12* (10), 35–46. <https://doi.org/10.5006/0010-9312-12.10.35>.
8. Romanoff, M. *Underground Corrosion*; Washington D.C., 1957.
9. Peabody, A. W. *Peabody's Control of Pipeline Corrosion*, Second.; Bianchetti, R. L., Ed.; NACE International, 2001.
10. Katano, Y.; Miyata, K.; Shimizu, H.; Isogai, T. Predictive Model for Pit Growth on Underground Pipes. *CORROSION* **2003**, *59* (2), 155–161. <https://doi.org/10.5006/1.3277545>.
11. Mughabghab, S. F.; Sullivan, T. M. Evaluation of the Pitting Corrosion of Carbon Steels and Other Ferrous Metals in Soil Systems. *Waste Manag.* **1989**, *9* (4), 239–251. [https://doi.org/10.1016/0956-053X\(89\)90408-X](https://doi.org/10.1016/0956-053X(89)90408-X).
12. Velázquez, J. C.; Caleyó, F.; Valor, A.; Hallen, J. M. Technical Note: Field Study—Pitting Corrosion of Underground Pipelines Related to Local Soil and Pipe Characteristics. *CORROSION* **2010**, *66* (1), 016001–016005. <https://doi.org/10.5006/1.3318290>.
13. Klemz, A. C.; Weschenfelder, S. E.; Lima de Carvalho Neto, S.; Pascoal Damas, M. S.; Toledo Viviani, J. C.; Mazur, L. P.; Marinho, B. A.; Pereira, L. dos S.; da Silva, A.; Borges Valle, J. A.; de Souza, A. A. U.; Guelli U. de Souza, S. M. A. Oilfield Produced Water Treatment by Liquid-Liquid Extraction: A Review. *J. Pet. Sci. Eng.* **2021**, *199*, 108282. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.108282>.
14. Velázquez, J. C.; Hernández-Sánchez, E.; Terán, G.; Capula-Colindres, S.; Díaz-Cruz, M.; Cervantes-Tobón, A. Probabilistic and Statistical Techniques to Study the Impact of Localized Corrosion Defects in Oil and Gas Pipelines: A Review. *Metals (Basel)*. **2022**, *12* (4), 576. <https://doi.org/10.3390/met12040576>.
15. Castillo, E.; Hadi, A. S.; Balakrishnan, N.; Sarabia, J. M. *Extreme Value and Related Models with Applications in Engineering and Science*, First.; John Wiley & Sons, Inc.: New Jersey, 2004.
16. Walpole, R. E.; Myers, R. H.; Myers, S. L.; Ye, K. *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*, Ninth.; Pearson, 2016.
17. Miller, I.; Freund, J. E. *Probabilidad y Estadística Para Ingenieros*; Reverte, 2021.
18. González-Arévalo, N. E.; Velázquez, J. C. C.; Díaz-Cruz, M.; Cervantes-Tobón, A.; Terán, G.; Hernández-Sánchez, E.; Capula-Colindres, S. Influence of Aging Steel on Pipeline Burst Pressure Prediction and Its Impact on Failure Probability Estimation. *Eng. Fail. Anal.* **2021**, *120* (October 2020), 104950. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104950>.

# Monitorización terapéutica de fármacos: ¿A quién beneficia y qué se necesita para implementarla?

Rodrigo Velarde Salcedo<sup>1</sup>, Silvia Romano Moreno<sup>1</sup>, Susanna Edith Medellín Garibay<sup>1</sup>

## Resumen

En ocasiones, los fármacos pueden no cumplir su objetivo principal: curar enfermedades o aliviar síntomas asociados. Aunque pueden ser muchas las causas de que el tratamiento con medicamentos no sea exitoso, frecuentemente el fallo en un tratamiento farmacológico se puede explicar por una dosificación inadecuada. Aunque existen dosis estándar, las cuales se espera que funcionen adecuadamente en la mayoría de las personas, para algunos fármacos se requiere una dosificación individualizada a cada paciente, y viceversa. La optimización de las dosis terapéuticas de manera individual requiere de la monitorización farmacoterapéutica, en la cual se miden las concentraciones de fármaco en sangre después de la administración de un medicamento. De esta manera, se puede saber si la dosis de un paciente es insuficiente para llevar a cabo su efecto terapéutico, o bien si es demasiado alta y existe riesgo de presentar efectos tóxicos. Aunque la monitorización es una práctica rutinaria en centros de salud de países desarrollados, en México aún existen retos para que los pacientes que lo necesitan tengan acceso a este tipo de servicios farmacéuticos.

## Problemas relacionados con el uso de medicamentos

Cuando un paciente toma un medicamento, ya sea por indicación médica o por automedicación, espera curar una enfermedad y/o aliviar síntomas asociados a ésta. Usualmente no hay motivo para pensar que un medicamento no va a cumplir su función, pero en ocasiones este puede ser el caso.

Se pueden presentar escenarios de distinta gravedad, como los siguientes:

- El fármaco no ejerce el efecto terapéutico deseado. Por ejemplo, puede tratarse de un analgésico que no alivia un dolor de cabeza leve; o bien, un antibiótico es incapaz de eliminar una infección grave, poniendo en riesgo la vida de un paciente hospitalizado.
- El fármaco ocasiona efectos adversos, los cuáles pueden variar desde un mareo o somnolencia, hasta provocar daños en órganos vitales como el hígado o los riñones.

Pero, ¿cuáles con las causas de que un medicamento no funcione? Para responder esta pregunta, hay un concepto que resulta familiar para profesionales de la salud. Se trata de los cinco “correctos” de la administración de medicamentos: El *medicamento correcto*, en la *dosis correcta*, en el *momento correcto*, por la *vía (de administración) correcta*, para el *paciente correcto*. Estos “correctos” podrán parecer obvios, pero su incumplimiento es bastante común, y explica la gran mayoría de los problemas relacionados con los medicamentos. La Figura 1 ilustra algunos ejemplos del incumplimiento de cada correcto.

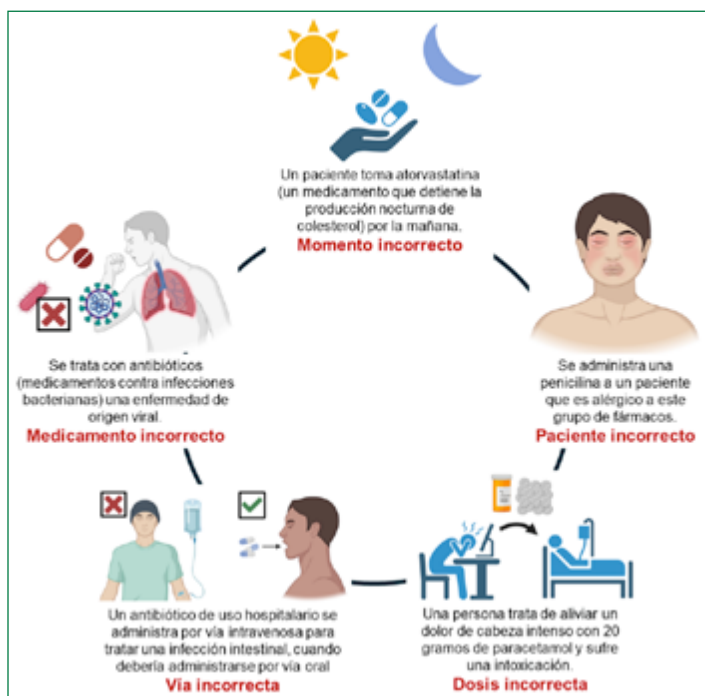


Figura 1. Incumplimiento de los cinco correctos de la administración de medicamentos. Ilustración creada con Biorender.com

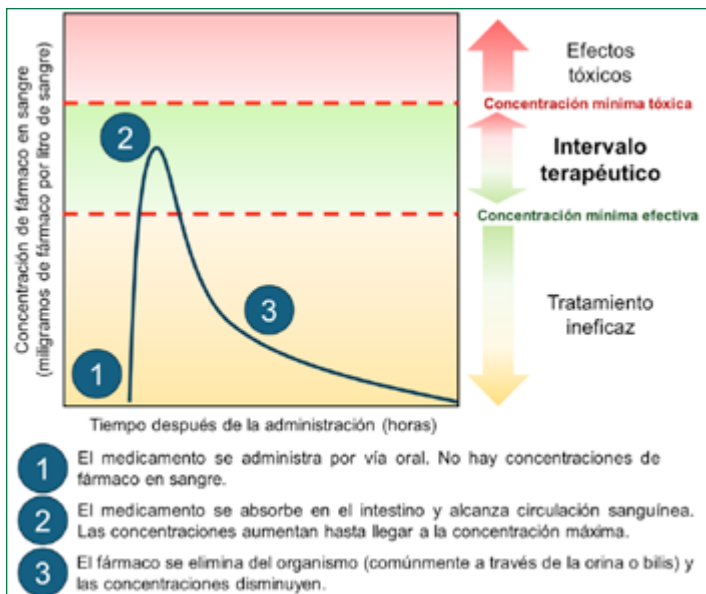
Se puede ahondar en las posibles causas de errores de medicación, pero para fines de este texto se hablará de errores en la dosificación. La dosificación correcta de medicamentos es más complicada que sólo aprender las dosis en un libro de farmacología. Existen varios factores que considerar, los cuales son el objeto de estudio de la *farmacometría*.

## La farmacometría para entender la dosificación de medicamentos

El término farmacometría viene del griego *pharmakon* (fármaco) y *metron* (medida). Es una rama de la farmacología que trata de medir cuantitativamente todos los aspectos relacionados con la medicación y conocer cómo se comporta un medicamento en el cuerpo una vez que es administrado. En términos simples, describe la relación entre la cantidad de fármaco absorbido y los efectos farmacológicos (tanto efectos deseados como efectos negativos).

\*Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí  
[rvelardesal@gmail.com](mailto:rvelardesal@gmail.com); [srm@uaslp.mx](mailto:srm@uaslp.mx);  
[susanna.medellin@uaslp.mx](mailto:susanna.medellin@uaslp.mx)





**Figura 2.** Gráfico del cambio de concentración de fármaco en sangre después de administrar un medicamento. Se ilustra el intervalo terapéutico. Fuente: elaboración propia con datos de obtenidos de las referencias.

Los estudios de farmacometría permiten establecer el intervalo terapéutico de un fármaco; esto es, el valor mínimo y máximo de la concentración del fármaco en sangre de un paciente para que el tratamiento sea exitoso; es decir, alcanzar la dosis mínima efectiva, sin presentar efectos tóxicos (Figura 2). En estos estudios establecen la dosis estándar del fármaco para que las concentraciones sanguíneas tengan alta probabilidad de encontrarse dentro del intervalo terapéutico en el individuo típico.

### La respuesta para asegurar el éxito del tratamiento: Monitorización farmacoterapéutica

Las dosis estándar resultantes de estudios de farmacometría se establecen para una persona promedio, pero pueden no ser adecuadas para cada uno de los pacientes, por lo cual es necesario optimizar las dosis de manera individual. En lugar de asumir que las concentraciones de fármaco en un paciente estarán dentro del intervalo terapéutico con la dosis estándar, estas se pueden medir o monitorear para asegurarlo. A esto se le llama *monitorización farmacoterapéutica* o *monitorización terapéutica de fármacos*.

Esta práctica clínica consiste en tomar una o dos muestras de sangre posteriores a la administración del medicamento. Las muestras son enviadas a laboratorios especializados para medir la concentración de fármaco en sangre, y poder informar al médico si el resultado se encuentra dentro del intervalo terapéutico o, en caso contrario, debe hacer un ajuste o cambio de dosis. Después de hacer un cambio de dosis, es recomendable volver a monitorear las concentraciones para verificar que se estén alcanzando concentraciones adecuadas (Figura 3).

La monitorización farmacoterapéutica parece la solución a los potenciales problemas de dosificación de medicamentos. Entonces, ¿por qué no es una práctica común que se aplique día a día? Después de todo, las farmacias venden una gran cantidad de medicamentos todos los días y no todos esos medicamentos son monitorizados. Lo cierto, es que no todos los fármacos se deben

monitorizar, ni todos los pacientes se benefician con esta práctica clínica, pero aquellos que tienen un índice terapéutico estrecho definitivamente lo requieren.

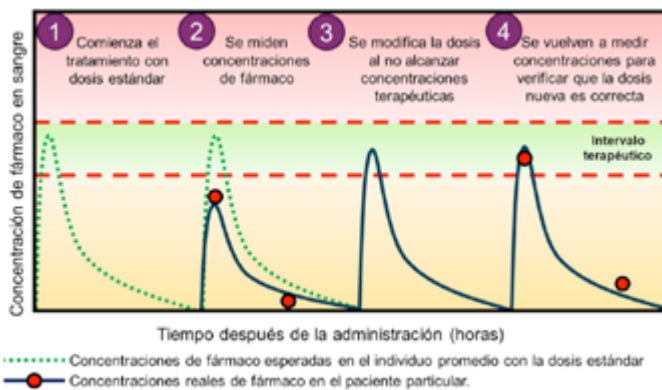
### ¿Qué personas y qué fármacos deben ser monitorizados?

Para responder a esta pregunta, hay que considerar varios factores. Primero, las consecuencias de un problema de medicación varían en severidad. Por ejemplo, si una persona sana a quien le duele la cabeza por estrés toma una dosis insuficiente de aspirina, lo peor que le puede pasar es que el dolor no ceda y tenga que esperar a que este pase. En este caso, no es necesario pagarle a un laboratorio para solicitar niveles de aspirina en sangre. En cambio, si un paciente con cáncer se intoxica con su tratamiento de quimioterapia, su vida podría estar en riesgo.

En general, los requisitos que debe reunir un fármaco para ser “monitorizable” son los siguientes (se mencionan ejemplos en la Tabla 1):

Debe existir una relación clara entre la concentración sanguínea de fármaco y la respuesta farmacológica.

- Existe una amplia variabilidad en las concentraciones de fármaco para cada persona. Esto significa que la respuesta “promedio” con la que se establecen las dosis estándar no va a ser la observada en un gran número de pacientes.
- El intervalo terapéutico del fármaco es estrecho. Esto quiere decir que la diferencia entre la concentración mínima efectiva y la mínima concentración tóxica es muy pequeña y la más pequeña desviación en la dosis óptima puede hacer que las concentraciones se salgan del intervalo terapéutico.
- Los síntomas de la enfermedad enmascaran los efectos tóxicos. Un ejemplo de esto es que los efectos tóxicos de algunos fármacos para la epilepsia incluyen crisis convulsivas. Entonces, si un paciente bajo tratamiento antiepiléptico está convulsionando, no hay manera de saber si esto se debe a que la dosis es insuficiente, o bien a que el paciente está intoxicado.



**Figura 3.** Esquema del proceso de monitorización farmacoterapéutica. Fuente: elaboración propia con datos de obtenidos de las referencias.

**Tabla I.** Fármacos monitorizados comúnmente en la práctica clínica  
(adaptado de Escobar L., 2016)

Grupo de fármacos	Fármaco	Enfermedad para la que se usan	Motivos para monitorizar
Antimicrobianos	Vancomicina	Infecciones graves en hospitales	Prevención de efectos tóxicos en riñón y oídos.
	Gentamicina		
	Amikacina		
	Rifampicina	Tuberculosis	Frecuente fallo terapéutico por dosis bajas.
	Isoniacida		Prevención de toxicidad en el hígado.
Inmunosupresores	Ciclosporina	- Enfermedades autoinmunes (artritis reumatoide, lupus eritematoso sistémico, psoriasis, etc.). - Prevención de rechazo en trasplante de órganos.	Alta variabilidad de las concentraciones entre individuos.
	Tacrolimus		
	Ácido micofenólico		
Antineoplásicos	Metotrexato	- Varios tipos de cáncer (leucemias, linfomas). - Enfermedades autoinmunes.	Prevención de toxicidad.
Antiepilépticos	Ácido valproico	Epilepsia/Crisis convulsivas	Intervalo terapéutico estrecho. Es difícil distinguir si convulsiones se deben a ineficacia o toxicidad.
	Carbamazepina		
	Fenobarbital		
	Fenitoína		
Antiarrítmicos	Digoxina	Arritmias cardiacas	Margen terapéutico estrecho

- El efecto terapéutico es difícil de medir. Por ejemplo, los medicamentos para la hipertensión arterial generalmente no son monitorizables, porque es mucho más fácil y económico monitorear la presión arterial directamente que medir la concentración de fármaco.

La Tabla I indica los fármacos que son comúnmente monitorizados en la práctica clínica.

Además de los requisitos que debe cumplir el fármaco, hay factores asociados a los propios pacientes que determinan si deben someterse a seguimiento farmacoterapéutico o no. Principalmente, la gravedad del paciente, puesto que esto puede exacerbar las consecuencias negativas de una dosificación inadecuada.

- **Monitorización farmacoterapéutica en México ¿qué hace falta?**

La monitorización de fármacos comenzó desde la década de 1960 y en la actualidad, es una práctica rutinaria en centros de salud de países con economías desarrolladas. Sin embargo, este no es el caso en México.

Son pocos los lugares donde se hace monitorización en nuestro país. Algunos laboratorios clínicos particulares y centros de salud especializados ofrecen la medición de concentraciones de fármaco, pero la interpretación adecuada de resultados suele realizarse sólo en hospitales escuela que están en contacto con universidades y centros de investigación, ya que son los lugares donde se cuenta con la capacitación técnica para ello.

Esta situación puede explicarse parcialmente por el rezago de México frente a otros países en cuanto a la implementación de servicios farmacéuticos. Otro motivo es el costo elevado que se percibe en los servicios de monitorización, que rondan entre \$500 y \$1,500 MXN (\$30 - \$75 USD), dependiendo del laboratorio y los métodos de análisis utilizados.

A pesar de que estos costos pueden parecer grandes en comparación con análisis clínicos comunes, existe un balance costo-beneficio en la monitorización farmacoterapéutica. Como ejemplo de esto, se puede tomar un paciente hospitalizado con una infección grave que está bajo tratamiento con un antibiótico. Si la dosis de este antibiótico es insuficiente, pasarán días o hasta semanas y la infección cederá; incluso, el paciente podrá agravar y su estancia hospitalaria se prolongará, requiriendo por supuesto más medicamentos. De igual manera, los efectos tóxicos por sobredosificación podrían prolongar la estancia hospitalaria y el costo del servicio médico total. Estas complicaciones pueden prevenirse monitoreando las concentraciones de antibiótico de ese paciente. En este caso, aunque el costo del servicio de monitorización es elevado, al final es mucho mayor el costo de no monitorizar.

#### Retos para implementar la monitorización de fármacos

Como se ha descrito a lo largo de este texto, aunque no todos los fármacos ni todos los pacientes requieren monitorización, aquellos que lo requieren se verían beneficiados al disponer de servicios de este tipo, los cuáles suelen ser desconocidos por el público en general e incluso por profesionales de la salud.

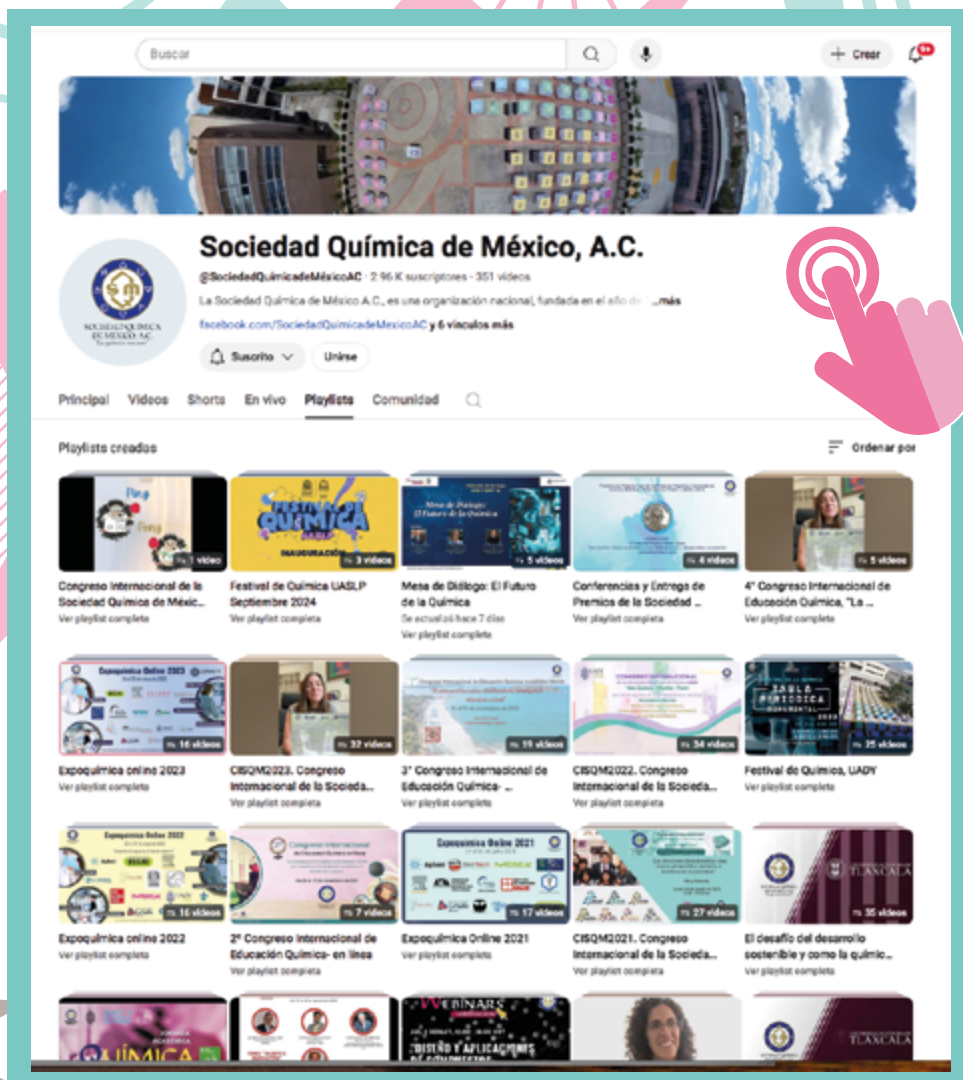
Aunque cada vez hay más profesionistas farmacéuticos capacitados para brindar estos servicios en centros de salud y universidades, aún hay un largo camino por recorrer para que quienes más lo necesitan tengan acceso a la monitorización de fármacos. Es necesario que más personas conozcan de este tema y realizar investigaciones en territorio nacional que demuestren con rigor científico los beneficios de la monitorización, desde una perspectiva tanto clínica como económica.

#### Referencias

1. Calvo, M. V., García, M. J., Martínez, J. and Fernández, M. M. (2002). Farmacocinética Clínica. En *Farmacia Hospitalaria* (pp. 625–655). Sociedad Española de Farmacia Hospitalaria. <https://www.sefh.es/bibliotecavirtual/fhtomo1/cap212.pdf?ts=20240509074116>
2. Kang, J. S. and Lee, M. H. (2009). Overview of Therapeutic Drug Monitoring. *The Korean Journal of Internal Medicine*, 24(1), 1. <https://doi.org/10.3904/KJIM.2009.24.1.1>
3. Leslie Escobar, Q. F. (2016). Monitorización terapéutica de fármacos y aspectos prácticos de farmacocinética. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 27(5), 605–614. <https://doi.org/10.1016/J.RMCLC.2016.09.006>



# Suscríbete a nuestro canal de YouTube



*"La química nos une"*

[www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx)  
[soquimex@sqm.org.mx](mailto:soquimex@sqm.org.mx)



# Rastreado peligros invisibles: el impacto de los microplásticos en la salud humana

María Llasbeth Hernández Calderón<sup>1,2</sup> David Ramiro Aguillón Gutiérrez<sup>3</sup> y Sandra Díaz Barriga Arceo<sup>4</sup>

## RESUMEN

Los microplásticos son partículas plásticas de tamaño micrométrico que se producen por la fragmentación de plásticos más grandes. Estos pueden llegar al humano a través de la ingestión de alimentos y/o bebidas contaminadas, por inhalación o por contacto dérmico. Los efectos que estos contaminantes pueden tener sobre la salud humana no han sido completamente descubiertos; sin embargo, queda claro que una vez que ingresan al organismo conducen a un proceso inflamatorio que pueden causar daño tisular afectando órganos como el corazón, pulmones, cerebro y sistema reproductivo, entre otros.

## ABSTRACT

Microplastics are small plastic particles produced by the fragmentation of larger plastics. These can enter the human body by ingesting contaminated food and/or beverages, inhalation, or dermal contact. The effects that these contaminants may have on human health have not been fully elucidated; however, it is clear that once they enter the body, they initiate an inflammatory process that can cause cellular damage, affecting organs such as the heart, lungs, brain, reproductive system, among others.

## PALABRAS CLAVE

Microplásticos, salud humana, contaminación, impacto ambiental.

## Keywords

Microplastics, human health, pollution, environmental impact.

## INTRODUCCIÓN

Los plásticos son materiales sintéticos que han facilitado en muchos sentidos la vida de la especie humana, en gran medida por su ductibilidad que permite darles diversas formas, su resistencia y bajo costo. Un ejemplo muy claro de como el plástico forma parte importante de nuestras vidas, lo vivimos durante la pandemia por SARS-Cov2, debido a que el uso de mascarillas fabricadas con este material se convirtió en parte esencial de nuestros días, al igual que las entregas de productos a domicilio envueltos en plástico. Sin embargo, con todo y sus ventajas, la contaminación plástica se ha convertido en un severo problema mundial ya que por su lenta o nula degradación, el plástico se acumula fácilmente en el medio ambiente y a través de diversas vías puede llegar a nuestros órganos y sistemas, sobre todo cuando los plásticos son fragmentados a partículas más pequeñas llamadas microplásticos. La comunidad científica menciona que estamos viviendo la era del plástico y que éste será un marcador de la era geológica actual que se distingue por el papel central que desempeña la humanidad. Por lo anterior, en este artículo te contaremos qué son los microplásticos, las vías a través de las cuales llegan a nuestro organismo y el impacto que pueden tener sobre la salud humana.

## ANTECEDENTES: LOS PLÁSTICOS EN MÉXICO Y EL MUNDO

La producción mundial de plástico ha aumentado casi exponencialmente desde la Segunda Guerra Mundial, y en este tiempo se han fabricado más de 8.300 megatoneladas (Mt) de plástico. El volumen de producción anual ha crecido de menos de 2 Mt en 1950 a 460 Mt en 2019, y está en camino de triplicarse para 2060. Es preocupante saber que la mitad de todo el plástico que en este momento se encuentra circulando en el planeta se ha producido tan sólo desde el 2002 (Landrigan *et al.*, 2023).

De acuerdo con el reporte emitido por la *Plastics Europe*, la producción mundial de plástico registró en 2021 un incremento del 4.04% produciéndose un total de 390.7 millones de toneladas de plástico, de las cuales, 90.2% corresponde a plásticos de origen fósil, 8.3% son plásticos reciclados postconsumo y el 1.5% son bioplásticos. En cuanto a composición, los polímeros más producidos en todo el mundo son: el polipropileno (19.3%), polietileno de baja densidad (14.4%), PVC (12.9%), polietileno de alta y media densidad (12.5%) y plásticos reciclados (8.3%).

Por lo que respecta a México, la Asociación Nacional de Industrias del Plástico, A.C. registró en 2023 un crecimiento de 5.3% de la industria del plástico, produciendo cerca de 7 millones de toneladas por año de los 400 millones de toneladas que se producen por año en el mundo, cifras que lo sitúan como el onceavo productor y consumidor de plástico a nivel mundial (Ambiente plástico, 2024).

En cuanto a cifras referentes a contaminación plástica, el portal GreenMatch sitúa a México en el top 10 de los principales países productores de desechos plásticos, ocupando el décimo lugar con una producción de 5.9 millones de toneladas de desechos plásticos, de las cuales solamente el 15% se recicla. Por entidad federativa, la Ciudad de México es la más afectada, ya que produce 13,000 toneladas de desechos por día, y se estima que de este volumen un 40% son plásticos cuyo destino principal será la incineración o su depósito en rellenos sanitarios no regulados (para ingresar al ambiente en forma de basura).

<sup>1</sup>Laboratorio de Citogenética Humana, FES Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

<sup>2</sup>Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarios, Universidad Autónoma de Coahuila.

<sup>3</sup>Laboratorio de Bioindicadores, Centro de Investigación y Jardín Etnobiológico (CIJE), Universidad Autónoma de Coahuila.

<sup>4</sup>Laboratorio de Genética Toxicológica, Unidad de Investigación Multidisciplinaria, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Universidad Nacional Autónoma de México.

Atendiendo a esta situación, en 2019 el Congreso local de la Ciudad de México aprobó la reforma a la Ley de Residuos Sólidos, en la que se establece que a partir de enero de 2020 se prohíbe la comercialización, distribución y entrega de bolsas de plástico, y a partir de 2021 se aplicaría para productos de un solo uso tales como popotes, agitadores, globos entre muchos otros, a menos que sean compostables. Esta reforma ha ido tomando cauce parcialmente y no todas las entidades federativas han replicado su implementación.

## 1. MICROPLÁSTICOS, ¿QUÉ SON Y DÓNDE ENCONTRARLOS?

Los plásticos que utilizamos tienen diversas dimensiones. Los microplásticos son partículas o fragmentos de plástico que miden menos de 0.5 cm (5000 micras) y que se encuentran de manera ubicua en nuestro entorno, y a las que nos exponemos todos los días. Estas partículas se pueden clasificar, según su origen, en primarias y secundarias (Wu *et al.*, 2019). Los microplásticos de origen primario son aquellos que se generan industrialmente para la producción de fibras textiles, medicamentos y productos de cuidado personal, como los cosméticos, mientras que los de origen secundario provienen de la fragmentación de artículos de basura plástica más grandes (contenedores de plástico, redes, ropa sintética, neumáticos, entre otros), ya sea por el envejecimiento de los materiales o por la exposición a la luz solar, la abrasión de las olas del mar y el viento, condiciones que generan hidrólisis, degradación térmica y microbiana, entre otras.

## 2. ¿CÓMO LLEGAN LOS MICROPLÁSTICOS A NUESTRO ORGANISMO?

La contaminación por microplásticos es omnipresente en los entornos acuáticos y terrestres. Los microplásticos se encuentran en el agua y los sedimentos, dentro de los organismos y en la atmósfera, por lo que la exposición humana a estos materiales es prácticamente inevitable. Esta exposición se puede dar por ingestión a través del consumo de alimentos contaminados como frutas, verduras y bebidas embotelladas; por inhalación de microplásticos suspendidos en el aire, y por contacto dérmico a través de productos de higiene personal, productos de belleza, textiles y polvo (Blackburn & Green, 2022; Prata *et al.*, 2020).

## 3. MECANISMOS DE TOXICIDAD DE LOS MICROPLÁSTICOS

Los microplásticos, que anteriormente se consideraban partículas inertes no tóxicas, ahora se consideran potencialmente dañinos para los organismos. Las características de superficie, así como los aditivos (catalizadores, plastificantes, colorantes y retardantes de llama) que contienen, pueden provocar: 1) estrés oxidativo, es decir, un desbalance de radicales libres que dañan membranas celulares, 2) citotoxicidad y daño genotóxico, que es daño a la célula en su totalidad y al material genético, respectivamente, 3) traslocación, es decir, la migración del órgano blanco a otros órganos y/o tejidos periféricos como la sangre, linfa y placenta, entre otros, 4) alteraciones biológicas, al actuar como sustancias que imitan moléculas de nuestro organismo, como las hormonas, lo que se conoce como disruptores hormonales y/o del metabolismo, 5) inflamación crónica con aumento del riesgo de desarrollar cáncer; al acumularse en el cuerpo, debido a la falta de un sistema enzimático en los organismos que los pueda degradar. Los microplásticos también pueden estar implicados en el aumento de la incidencia de enfermedades inmunitarias o neurodegenerativas y fungir como vectores de microorganismos y/u otros materiales potencialmente peligrosos como los metales pesados (Kumar *et al.*, 2022).

## 4. EFECTOS DE LOS MICROPLÁSTICOS SOBRE LA SALUD HUMANA

Como se explicó anteriormente, los microplásticos pueden ingresar a nuestro organismo por ingestión, inhalación y contacto dérmico y una vez que llegan a la sangre o linfa pueden distribuirse a otros órganos como cerebro, órganos reproductores, riñones, corazón, placenta e incluso llegar a los embriones. Uno de los principales eventos que desencadena estos contaminantes en órganos blanco como los que se han mencionado antes, es el inicio de un proceso inflamatorio derivado del estrés oxidativo que causan. Este daño puede llevar a la célula a un proceso de citotoxicidad que puede ser tan grave como para provocar la apoptosis o muerte celular programada, dañar el ADN y modificar las cascadas de señalización (Bastyans *et al.*, 2022; Kumar *et al.*, 2022).





Es importante tener en cuenta que el efecto y el grado de daño de los microplásticos a nivel celular y/o de órganos depende de factores como: el tamaño de la partícula, la concentración, la vía de exposición, el material y los aditivos que lo componen.

## CONCLUSIÓN

La contaminación plástica está afectando gravemente a los ecosistemas, tanto terrestres como acuáticos, y ya supone un riesgo ecológico para diversas especies. Con la producción masiva y el uso indiscriminado de productos plásticos de un solo uso, esta afectación puede escalar fácilmente a un problema de salud pública, por lo que es de suma importancia concientizar a la población en el uso responsable de estos productos y sobre todo trabajar en sistemas eficientes de reciclaje.

La investigación sobre los microplásticos y la salud humana aún están en curso y hay mucha incertidumbre, por lo que se requiere de más estudios para comprender los riesgos potenciales que suponen y desarrollar estrategias efectivas para prevenirlos.

## Agradecimiento

Al programa PAPIIT IN224324 de la Universidad Nacional Autónoma de México bajo la dirección de la Dra. Sandra Díaz Barriga Arceo.

## REFERENCIAS

1. Ambiente plástico (2024). Disponible en: Industria del Plástico mexicana creció 5.3% en 2023 | Ambiente Plástico (ambienteplastico.com). Fecha de consulta: 25/05/2024.
2. Bastyans, S., Jackson, S., & Fejer, G. (2022). Micro and nano-plastics, a threat to human health?. *Emerging topics in life sciences*, 6(4), 411–422. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1042/ETLS20220024>.
3. Blackburn, K., & Green, D. (2022). The potential effects of microplastics on human health: What is known and what is unknown. *Ambio*, 51(3), 518–530. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1007/s13280-021-01589-9>.
4. GreenMatch (2024). Disponible en: 10 Countries Producing Most Plastic Waste | GreenMatch.co.uk. Fecha de consulta: 20/05/2024.
5. Kumar, R., Manna, C., Padha, S., Verma, A., Sharma, P., Dhar, A., Ghosh, A., & Bhattacharya, P. (2022). Micro(nano)plastics pollution and human health: How plastics can induce carcinogenesis to humans?. *Chemosphere*, 298, 134267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134267>
6. Landrigan PJ, Raps H, Cropper M, Bald C, Brunner M, Canonizado EM, Charles D, Chiles TC, Donohue MJ, Enck J, Fenichel P, Fleming LE, Ferrier-Pages C, Fordham R, Gozt A, Griffin C, Hahn ME, Haryanto B, Hixson R, Ianelli H, James BD, Kumar P, Laborde A, Law KL, Martin K, Mu J, Mulders Y, Mustapha A, Niu J, Pahl S, Park Y, Pedrotti ML, Pitt JA, Ruchirawat M, Seewoo BJ, Spring M, Stegeman JJ, Suk W, Symeonides C, Takada H, Thompson RC, Vicini A, Wang Z, Whitman E, Wirth D, Wolff M, Yousuf AK, Dunlop S. The Minderoo-Monaco Commission on Plastics and Human Health. *Ann Glob Health*. 2023 Mar 21;89(1):23. doi: 10.5334/aogh.4056. Erratum in: *Ann Glob Health*. 2023 Oct 11;89(1):71. PMID: 36969097; PMCID: PMC10038118.
7. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico. *Plastic pollution is growing relentlessly as waste management and recycling fall short, says OECD*. Disponible en: <https://www.oecd.org/en/about/news/press-releases/2022/02/plastic-pollution-is-growing-relentlessly-as-waste-management-and-recycling-fall-short.html> Fecha de consulta: 02/12/2024.
8. PLASTICS EUROPE (2022). Disponible en: Plásticos - Situación en 2022 (plasticseurope.org). Fecha de consulta: 23/05/2024.
9. Prata, J. C., da Costa, J. P., Lopes, I., Duarte, A. C., & Rocha-Santos, T. (2020). Environmental exposure to microplastics: An overview on possible human health effects. *The Science of the total environment*, 702, 134455. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.scitotenv.2019.134455>
10. Wu, P., Huang, J., Zheng, Y., Yang, Y., Zhang, Y., He, F., Chen, H., Quan, G., Yan, J., Li, T., & Gao, B. (2019). Environmental occurrences, fate, and impacts of microplastics. *Ecotoxicology and environmental safety*, 184, 109612. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109612>
11. Yong, C. Q. Y., Valiyaveetil, S., & Tang, B. L. (2020). Toxicity of Microplastics and Nanoplastics in Mammalian Systems. *International journal of environmental research and public health*, 17(5), 1509. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051509>
12. Zhu, X., Wang, C., Duan, X., Liang, B., Genbo Xu, E., & Huang, Z. (2023). Micro- and nanoplastics: A new cardiovascular risk factor?. *Environment international*, 171, 107662. <https://doi-org.pbidi.unam.mx:2443/10.1016/j.envint.2022.107662>

# ¿Te interesa formar o reactivar una Sección Estudiantil de la SQM?

## PASO 1

### MIEMBROS

Reúne un grupo de mínimo 10 personas que se encuentren interesados en ser parte de la Sección Estudiantil y se encuentren estudiando la licenciatura en alguno de los programas de química en tu institución.



## PASO 2

### COORDINADOR@S

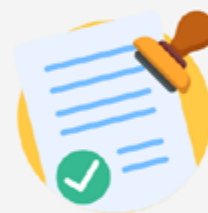
Solicita a alguna (es) académicas de tu Institución su apoyo para fungir como Coordinadores de la Sección Estudiantil.



## PASO 3

### V.ºB.º INSTITUCIONAL

Acude con el responsable de tu institución para solicitar una carta con el visto bueno por parte de la misma.



## PASO 4

### PAGO DE MEMBRESÍAS

Para poder crear la Sección Estudiantil es necesario que los integrantes sean miembros de la SQM, realizando el pago de una membresía de estudiante de licenciatura.



## PASO 5

### V.ºB.º SOCIEDAD QUÍMICA DE MÉXICO, A.C.

Envía al correo [contenidosacademicos@sqm.org.mx](mailto:contenidosacademicos@sqm.org.mx) los siguientes documentos:

- Carta con el V.ºB.º de tu institución.
- Comprobantes de pago de cada integrante de la Sección Estudiantil.
- Programa Anual de actividades.
- Carta con la respectiva Mesa Directiva de la Sección Estudiantil.



[www.sqm.org.mx](http://www.sqm.org.mx)  
[soquimex@sqm.org.mx](mailto:soquimex@sqm.org.mx)



*Boletín de la Sociedad Química de México*