



ISSN-e 2594-1038

Boletín de la Sociedad Química de México

Volumen 20
Número 2
Año 2026
Mayo-Agosto



SOCIEDAD QUÍMICA
DE MÉXICO, A.C.
"La química nos une"



Bol. Soc. Quím. Méx. 2026
Ciudad de México, México
Publicación cuatrimestral
www.bsqm.org.mx

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

EDITORES

Dra. Angélica Estrella Ramos Peña
Dr. Martín Caldera Villalobos
Dra. Mariana Esquivelzeta Rabell



MAQUETACIÓN

Estefanie Luz Ramírez Cruz
es.ramirezacruz@gmail.com

EN PORTADA: Logo por el 70 aniversario de la Sociedad Química de México, A.C.

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

El Boletín de la Sociedad Química de México, volumen 20, número 2, mayo-agosto, año 2026, es una publicación cuatrimestral, mayo-agosto 2026, 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, boletin.sqm@gmail.com, <http://bsqm.org.mx/>. Editora responsable: Angélica Estrella Ramos Peña. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2017-063013203100-203, ISSN-e: 2594-1038, ambos otorgados por Instituto Nacional de Derechos de Autor. El contenido de los trabajos publicados es de exclusiva responsabilidad de sus autores y en nada comprometen a la SQM o los editores del BSQM. Responsable de la última actualización de este número Estefanie Ramírez. Fecha de última modificación: 31 de agosto de 2026.

CONTENIDO



QUÍMICA HOY	
Carta Editorial Estrella Ramos	4
Carta de Bienvenida 2026 Fernando Cortés Guzmán	5
Ganadores del Premio Nacional a las Mejores Tesis en Ciencias Químicas de Licenciatura, Maestría y Doctorado "Rafael Illescas Frisbie", Edición 2026	6
Ganadores del Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río", Edición 2026	7
Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 y 7º Congreso Internacional de Educación Química	8
Membresía de la Sociedad Química de México 2026	16
QUÍMICA, DESARROLLO Y SOCIEDAD	
Plastificantes en el aire: ftalatos en PM_{2.5} y riesgos para la salud desde una perspectiva de género Blanca Yessica Carreón Garabito, Violeta Mugica Álvarez, Mario Alfonso Murillo Tovar	19
Errores en el uso de medicamentos: cómo detectarlos y prevenirlos Damaris Jael Trujillo Gutierrez, Martha Diaz Flores, Mayred Yeselin León García, Mariana Ortiz Reynoso	27
Microplásticos, macroproblemas Rubén Fabrizio Brito González, Luz Verónica Reyes Bañuelos, Ramses Meza Mendoza, Oscar Daniel Máynez Navarro, T. Alexandra Ferreira García	31
Emergencia radiactiva: una mirada química al accidente de Goiania Martín Caldera Villalobos	37
QUÍMICA PARA LOS ESTUDIANTES	
El efecto túnel: un fenómeno extraño pero real con tecnología premiada por el Nobel Marco Polo Jiménez Segura, Jesús Hernández Trujillo	41

Carta Editorial

Estimados lectores:

Estoy muy contenta de iniciar esta etapa como editora del *Boletín de la Sociedad Química de México* y agradezco mucho la invitación a participar en este proyecto. Quiero también reconocer y agradecer a la Dra. Mariana Ortiz Reynoso por el trabajo y la dedicación de estos años, que han sido fundamentales para dar forma y continuidad al *Boletín*.

Tengo además la suerte de comenzar esta etapa acompañada por un equipo que conoce bien el *Boletín* y que participa con entusiasmo en este proyecto. Mariana Esquivelzeta Rabell y Martín Caldera Villalobos continúan como editores, y contamos también con el apoyo y la experiencia de Estefanie Ramírez Cruz y Adriana Vázquez Aguirre. Entre todos, desde distintas tareas, iremos construyendo esta nueva etapa.

Empezamos con algunos cambios en el formato y la presentación, buscando que el *Boletín* sea más fácil de leer, ágil y ameno. Pero también queremos aprovechar esta nueva etapa para preguntarnos qué queremos contar y compartir. Nos gustaría que el *Boletín* nos ayude a saber qué está pasando en la química en México y en el mundo, qué estamos investigando, qué estamos enseñando, qué problemas nos interesan y qué temas están generando nuevas preguntas.

La química está presente en muchos de los asuntos que forman parte de nuestra vida cotidiana. Este número es una buena muestra: hablamos de contaminación del aire, medicamentos, microplásticos, radiactividad y efecto túnel, además de compartir noticias y actividades de nuestra comunidad. Queremos seguir hablando de química desde perspectivas muy distintas y de su relación con la salud, el ambiente, la tecnología, la educación y la sociedad.

Y para hacerlo necesitamos de ustedes. Los invitamos a enviarnos textos breves, noticias, reflexiones, experiencias y propuestas. Queremos saber qué están haciendo las y los químicos de México, qué sucede en las universidades, centros de investigación, aulas e industria, pero también conocer historias, ideas y temas de actualidad que valga la pena compartir.

Esperamos que el *Boletín* sea cada vez más un espacio de comunicación para nuestra comunidad: interesante, cercano y con contenidos que den ganas de seguir leyendo.

Esta nueva etapa apenas comienza.

Los invitamos a acompañarnos y a hacer suyo este espacio.

Estrella Ramos
Editora en Jefe



Intervenido con IA / ChatGPT

Carta de Bienvenida 2026



Estimado lector,

Con este número del Boletín de la Sociedad Química de México, iniciamos una nueva etapa con la Dra. Angélica Estrella Ramos Peña como nueva editora, con la misión de continuar el espléndido trabajo de la Dra. Mariana Ortiz Reynoso, a quien le agradezco profundamente su labor de ocho años como editora del Boletín de la Sociedad Química de México.

Buscamos que el Boletín se consolide como uno de los principales medios de comunicación de la comunidad química en México y como un punto de encuentro en el que se dé visibilidad a las noticias, avances, iniciativas y acontecimientos relevantes de la química en nuestro país, así como a la divulgación de la ciencia y la educación químicas. Queremos que el Boletín sea también un espacio para el diálogo y el debate sobre la química, su historia, sus aplicaciones y sus consecuencias.

Una de las grandes lecciones que nos dejó la pandemia por COVID-19 es que, no importa cuánto trabajo de divulgación se haya realizado por la comunidad científica, todavía queda mucho por hacer. Debemos multiplicar los esfuerzos en la divulgación de la química, no sólo para que el público en general valore las contribuciones científicas en su vida diaria, sino también para que los ciudadanos desarrollen un pensamiento crítico y cuenten con elementos basados en ciencia para tomar sus decisiones. Además, es importante poner énfasis no solamente en los resultados de la ciencia, sino también en acercar al público a los procesos del trabajo científico, para que la sociedad conozca cómo se hace la ciencia y valore la labor de los científicos. Este es uno de los objetivos principales de la SQM.

Estimado lector, en esta labor también buscamos tu apoyo. Queremos contar con tu retroalimentación y tu participación en los diálogos y el debate, así como invitarte a contribuir con noticias, artículos, reflexiones y experiencias que sean de interés para nuestra comunidad. Queremos fortalecer los vínculos entre quienes hacemos química desde la academia, la educación, la industria y el ejercicio profesional, para que la SQM siga siendo un espacio no sólo para hablar de química, sino también de nosotros, las y los químicos.

Fernando Cortés Guzmán

Presidente de la Sociedad Química de México



PREMIO NACIONAL



a las Mejores Tesis de Licenciatura,
Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas
“Rafael Illescas Frisbie”, Edición 2026

Ganadores

LICENCIATURA

L. Q. Víctor Iván Noguez Maldonado

TESIS: Síntesis y caracterización de complejos de la agrupación $Tp^{Me_2}Ir$ (dieno) frente a la 5-(trifluorometil)-2-mercaptopiridina y su actividad catalítica en la transferencia de hidrógeno

MAESTRÍA

M. en Q. Zyanya Rodríguez Pérez

TESIS: Estudio mediante RMN de protón del binomio(R)-BINOL-DMAP como ASQ de ácidos oxindolilacéticos quirales, intermediarios de síntesis de productos naturales con actividad biológica

DOCTORADO

Dr. en C. Enrique Aguilar Ramírez

TESIS: Dimetilsulfóxido (DMSO) como modulador del metabolismo secundario de los ascomicetos *Pestalotiopsis* sp. IQ-011 y *Talaromyces* sp. IQ-313. Aprovechamiento de la reactividad química de duclauxina

PREMIO NACIONAL DE QUÍMICA "ANDRÉS MANUEL DEL RÍO", EDICIÓN 2026 GANADORES



Áreas

► Académica

Categorías:

► Docencia

M.C. Juana María Alvarado Rodríguez

Facultad de Ciencias Químicas, UASLP

► Investigación Científica

► Joven Investigador

Dr. César Rogelio Solorio Alvarado

Departamento de Química, DCNE, UGto

► Investigador Consolidado

Dr. Leobardo Manuel Gómez Oliván

Facultad de Química, UAEMex

► Tecnológica

► Desarrollo Tecnológico

Dr. Antonio Sánchez Solís

Instituto de Investigaciones en Materiales, UNAM



Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026

7° Congreso Internacional de Educación Química

*“70 años de una química que transforma:
conocimiento con impacto social”*

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca



www.sqm.org.mx
congresos@sqm.org.mx



Ciencia y Tecnología





Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 7° Congreso Internacional de Educación Química

"70 años de una química que transforma: conocimiento con impacto social"

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca



Dra. en F. Esther del Olmo Fernández
Catedrática de Química Orgánica.
Universidad de Salamanca

Compuestos Heterocíclicos Nitrogenados: Síntesis, Prospección y Mejora de la Actividad Biológica

Los compuestos heterocíclicos nitrogenados constituyen uno de los grupos estructurales más amplios e importantes en la química orgánica y médica, por su ubicuidad natural (ADN, aminoácidos, vitaminas) y su capacidad para interactuar con sistemas biológicos, estando presentes en más del 60% de los fármacos comerciales. Dentro de este grupo destacan los derivados de ftalazinona y benzimidazol. Las ftalazinonas sobresalen por sus propiedades antineoplásicas, antiinflamatorias, inmunomoduladoras y cardiovasculares. Por su parte, los benzimidazoles destacan como antiparasitarios (antihelmínticos) al inhibir la α -tubulina del parásito. Se presentarán los resultados del grupo respecto a ambos núcleos.





Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 7° Congreso Internacional de Educación Química

"70 años de una química que transforma: conocimiento con impacto social"

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca



Dr. Jorge Ibáñez Cornejo

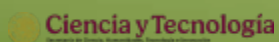
Profesor distinguido del Departamento de
Ingeniería Química, Industrial y Alimentaria,
Universidad Iberoamericana

¿Es factible el aprendizaje remoto en química experimental?

El aprendizaje remoto cobró especial relevancia durante y después de la pandemia de SARS-CoV-2. Nuestro enfoque consistió en diseñar y ensamblar un kit con 70 a 80 componentes, que se entregaba a domicilio a cada estudiante. El kit incluía de 10 a 15 soluciones químicas y equipo básico de seguridad. Esto permitió a los estudiantes matriculados en una asignatura optativa de la licenciatura en Electroquímica y Corrosión realizar de 25 a 30 experimentos por semestre.

Posteriormente, se replicaron experiencias similares con profesores de bachillerato y universitarios. También se pidió a los participantes que diseñaran experimentos de forma independiente, lo que dio lugar a ocho publicaciones internacionales. Con este mismo enfoque, la Sociedad Química de México, A.C. (SQM) también ofreció programas de formación en línea.

www.sqm.org.mx
congresos@sqm.org.mx





Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 7° Congreso Internacional de Educación Química

"70 años de una química que transforma: conocimiento con impacto social"

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca



Prof. Lee Cronin

Universidad de Glasgow

Creación de espacio químico con quimiocomputación y teoría del ensamblaje

La quimiocomputación transforma la síntesis en una ciencia ejecutable y Turing-completa para la creación de espacio químico. Al codificar las reacciones como programas portátiles y ejecutarlas en plataformas robóticas modulares, las moléculas pueden especificarse, compilarse, fabricarse, medirse y optimizarse en un ciclo cerrado. La teoría del ensamblaje proporciona la métrica causal para este proceso, vinculando la complejidad molecular, el número de copias y la selección con lo que puede construirse físicamente. En lugar de simplemente explorar el espacio químico virtual, la quimiocomputación expande el subespacio quimiocomputable de la materia: la región del espacio químico que puede diseñarse, ejecutarse, verificarse y extenderse recursivamente hacia una nueva realidad molecular.

www.sqm.org.mx
congresos@sqm.org.mx



Ciencia y Tecnología



ACS Publications





Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 7° Congreso Internacional de Educación Química

"70 años de una química que transforma: conocimiento con impacto social"

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca



Dr. John C. Warner

Director General y de Tecnología,
Technology Greenhouse, LLC

Química Verde: Los Elementos que Faltan

¡Imagina un mundo en el que todos los sectores de la sociedad exigieran productos respetuosos con el medio ambiente y neutros en carbono! ¡Imagina que todos los consumidores, minoristas y fabricantes insistieran en comprar y vender únicamente materiales no tóxicos y verdaderamente sostenibles! La triste realidad es que, incluso si esta situación se diera, nuestro conocimiento de la ciencia de los materiales y la química solo nos permitiría proporcionar una pequeña fracción de los productos y materiales necesarios para nuestra economía. Desafortunadamente, la forma en que aprendemos y enseñamos química y ciencia de los materiales en el ámbito académico carece, en su mayor parte, de información sobre los mecanismos de toxicidad y el daño ambiental. La química verde es una ciencia que busca reducir o eliminar el uso de materiales peligrosos en la etapa de diseño de un proceso de materiales. Se ha demostrado que los materiales y productos pueden diseñarse con un impacto mínimo en la salud humana y el medio ambiente, sin dejar de ser económicamente competitivos y exitosos en el mercado. Esta presentación describirá la historia y los antecedentes de la Química Verde y analizará las oportunidades para la próxima generación de materiales.

www.sqm.org.mx
congresos@sqm.org.mx



Ciencia y Tecnología
Gobierno de México





Congreso Internacional de la Sociedad Química de México 2026 7° Congreso Internacional de Educación Química

"70 años de una química que transforma: conocimiento con impacto social"

ExpoQUÍMICA

8-11

SEPTIEMBRE

Oaxaca, México

Facultad de Ciencias Químicas, UABJO
Centro Cultural y de Convenciones de Oaxaca

Redes Especializadas de Colaboración Científica

**Cada red tiene su propio espacio en el programa
y organiza sus sesiones**

CONTRIBUCIÓN DE LA SQM

DIFUSIÓN NACIONAL

Difusión en todos los
medios de la SQM ante
la comunidad química
del país.

APOYO FINANCIERO

La SQM gestiona
financiamiento para
las reuniones de redes
en sus eventos.

GESTIÓN DE PROYECTOS

Herramientas de
organización y gestión
de proyectos ante
agencias financiadoras.

MOVILIDAD ACADÉMICA

Plataforma para
tutorías, tesis conjuntas
y movilidad académica
entre instituciones.

ÁREAS DE COLABORACIÓN

Materiales y Nanociencia

Ambiente, Sustentabilidad y Alimentos

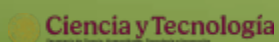
Salud, Q. Farmacéutica, Q. Medicinal y Biotecnología

Química Computacional e Inteligencia Artificial

Desarrollo, Innovación e Industria

Educación y Comunicación de la Química

www.sqm.org.mx
congresos@sqm.org.mx





Redes Especializadas. Etapa de Nucleación

Iniciativa de colaboración científica impulsada por la Sociedad Química de México, A.C.

Te invitamos a integrarte a la red de tu interés y la SQM te pondrá en contacto con los responsables.



Materiales y Nanociencia

3 redes

Red de Fotoquímica (y Materiales Fotoactivos)

Estudia fenómenos químicos iniciados o modulados por la luz, con énfasis en el desarrollo de sistemas orientados al aprovechamiento de energía limpia. Convoca a grupos que aborden estos procesos desde perspectivas diversas y con enfoque multitécnico.

Red Química Aplicada al Arte

Vincula la investigación química con la creación y conservación artística mediante proyectos que abordan el estudio de pigmentos, aglutinantes, aditivos y técnicas de conservación. Promueve la colaboración entre especialistas en química, materiales y arte para innovar en procesos creativos.

Red de Sistemas Termorreversibles Inteligentes Multiescala

Desarrolla investigación en torno al fenómeno de memoria de forma termorreversible en materiales poliméricos, metálicos y sistemas biológicos, bajo una perspectiva multiescala. Abarca desde el diseño molecular y la síntesis química hasta la construcción de prototipos con potencial de transferencia tecnológica.

Ambiente, Sustentabilidad y Alimentos

4 redes

Red Ambiental

Integra capacidades en química ambiental, toxicología, electroquímica, análisis multielemental y modelado computacional para generar respuestas a la contaminación del agua, suelo y aire. Desarrolla investigación en remoción de contaminantes emergentes y diseño de estrategias de mitigación basadas en evidencia.

Red de Materiales Poliméricos Avanzados

Desarrolla y aplica materiales poliméricos avanzados como plataforma tecnológica para atender desafíos críticos en los sectores de alimentos, agricultura y salud en México. Articula grupos de investigación dispersos para potenciar la colaboración interinstitucional y la transferencia de conocimiento al sector productivo.

Red de Alimentos y Agricultura Sustentable

Impulsa la investigación científica y tecnológica en alimentos y agricultura sustentable y protegida, respondiendo a necesidades nacionales en materia de seguridad alimentaria. Convoca a investigadores interesados en desarrollar soluciones de innovación agrotecnológica con impacto en la producción y el consumo sostenible.

Red de Biotecnología Ambiental

Articula enfoques interdisciplinarios que integran microbiología, química e ingeniería para atender problemáticas de contaminación por compuestos emergentes como fármacos, microplásticos y xenobióticos. Desarrolla estrategias biotecnológicas sostenibles orientadas a la bioremediación y generación de bioproductos de valor agregado.

Salud, Q. Farmacéutica, Q. Medicinal y Biotecnología

3 redes

Red de Estudios en Metabolómica

Estudia procesos biológicos mediante metabolómica con aplicaciones en salud—identificación de biomarcadores, comprensión de enfermedades y evaluación de tratamientos—y en el sector agroalimentario para analizar calidad, origen y autenticidad de los alimentos. Emplea plataformas de resonancia magnética nuclear (RMN) y espectrometría de masas (EM) en un marco de colaboración interinstitucional.

Red Simbiosis: Síntesis Molecular y Bioprospección (One Health)

Integra química sintética, fitoquímica y conocimiento etnobotánico para desarrollar moléculas orientadas a la resolución de problemas de salud pública. Su enfoque One Health vincula la salud humana, animal y ambiental bajo una visión científica que reconoce la interdependencia entre naturaleza y bienestar.

Red de Productos Naturales Bioactivos

México cuenta con una gran diversidad de recursos naturales. Actualmente, es fundamental sustentar científicamente su uso tradicional y desarrollar productos que contribuyan a resolver problemáticas en áreas como salud, alimentos, agricultura y ganadería. Asimismo, es necesario realizar análisis con tecnología de vanguardia para garantizar la calidad de los productos generados.

Química Computacional e Inteligencia Artificial

3 redes

Red de Quimioinformática

Integra química, ciencia de datos, inteligencia artificial y modelado molecular para el análisis y diseño de sistemas químicos y biológicos, con aplicaciones en descubrimiento de fármacos, materiales, agroquímicos y sostenibilidad. Fortalece la interacción entre investigadores, docentes, estudiantes y sector industrial a través de cursos, talleres y la Escuela Latinoamericana de Quimioinformática.

Red de Digitalización y Automatización en Química

Articula capacidades en química experimental, modelado computacional, ingeniería y ciencia de datos para impulsar la digitalización y automatización de procesos químicos en México. Promueve la colaboración interinstitucional y la formación de recursos humanos en experimentación de alto rendimiento y plataformas automatizadas.

Red de Conceptos en Estructura Electrónica

Revisa y enriquece los conceptos de la estructura electrónica de la materia mediante aproximaciones como DFT conceptual, teoría de enlace, descriptores de reactividad y teoría de átomos en moléculas. Construye un espacio común de discusión y colaboración para fortalecer la fisicoquímica teórica desde una perspectiva plural e integradora.

Desarrollo, Innovación e Industria

3 redes

Red I&D de Productos de Consumo

Promueve el intercambio de conocimiento y experiencia entre profesionales de Investigación y Desarrollo (I&D) en el sector de productos de consumo. Fomenta la vinculación con los distintos actores de la cadena de valor para impulsar la seguridad y eficacia en el desarrollo de nuevos productos.

Red LARPET: Refinación de Petróleo y Catalizadores

Reúne a especialistas en refinación de petróleo y catálisis industrial para fortalecer el desarrollo tecnológico en uno de los sectores estratégicos más importantes de México. Acompaña el proceso de transferencia tecnológica desde los desarrollos en laboratorio hasta su implementación a escala industrial.

Red de Sustentabilidad y Economía Circular

Desarrolla soluciones científicas y tecnológicas para el aprovechamiento sostenible de recursos naturales, la valorización de residuos agroindustriales y la innovación en sistemas alimentarios eficientes. Articula investigación interdisciplinaria en biomasa, materiales sostenibles, nanomateriales, procesos biotecnológicos limpios y empaques biodegradables.

Educación y Comunicación de la Química

4 redes

Red de Divulgación de la Química

Promueve la divulgación de los conceptos químicos y su importancia social, humana y económica, con el objetivo de transformar la imagen pública negativa que frecuentemente se asocia a la química. Combate la desinformación en ciencias químicas, fomenta vocaciones hacia carreras del área y complementa la educación química en niveles básico y medio.

Red de Formación Docente en Química

Analiza, diseña y mejora estrategias de formación docente en química para fortalecer las competencias pedagógicas y disciplinarias del profesorado en todos los niveles educativos. Convoca a docentes e investigadores interesados en construir una comunidad de práctica orientada a la mejora continua de la enseñanza de la química en México.

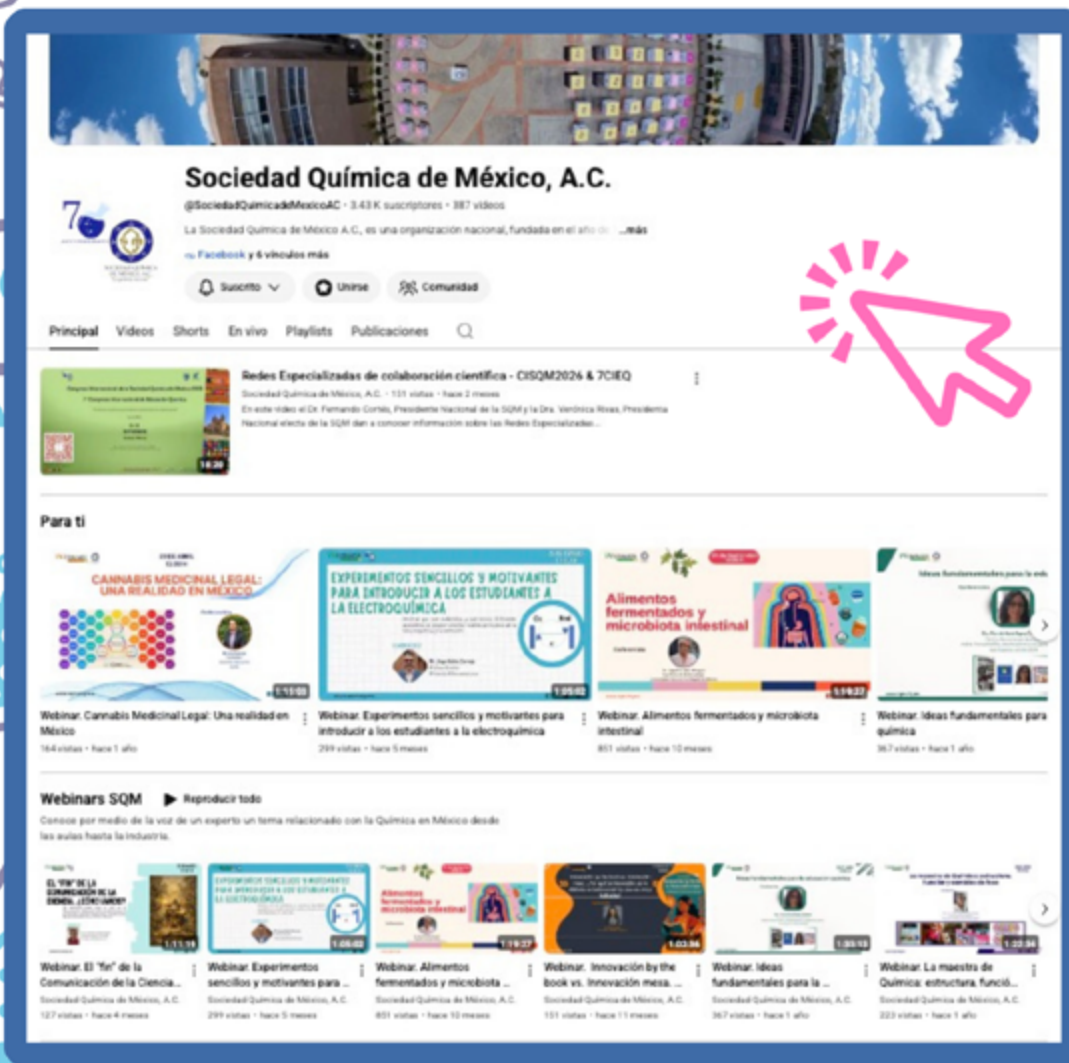
Red de Ambientes de Aprendizaje Alternativos

Explora espacios de aprendizaje alternativos para la enseñanza de la química en secundaria y media superior, donde enfoques multidisciplinarios y situaciones contextualizadas potencian la significatividad del aprendizaje. Abre un diálogo entre docentes para diseñar entornos educativos que armonicen la química con una visión integral de la realidad.

Red de Investigación Didáctica de la Química

Espacio académico y colaborativo dedicado al estudio y desarrollo de propuestas innovadoras para la enseñanza de la química, principalmente en educación superior. Busca fortalecer la educación científica mediante la investigación, la creación de materiales educativos y el intercambio de conocimientos entre docentes, investigadores e instituciones.

**¡Suscríbete a nuestro canal de
YouTube!**



"La química nos une"

soquimex@sqm.org.mx | www.sqm.org.mx
Tel. +5255 56626837; +5255 56626823



MEMBRESÍA



2026

PROFESIONAL **\$2,300.00 M.N.**

PROFESOR DE
EDUCACIÓN
MEDIA SUPERIOR **\$1,600.00 M.N.**

ESTUDIANTE DE
POSGRADO **\$1,600.00 M.N.**

MAYORES 65 AÑOS
/ JUBILADOS /
EMÉRITOS* **\$1,600.00 M.N.**

SOCIO
NUMERARIO** **\$1,550.00 M.N.**

ESTUDIANTE DE
LICENCIATURA **\$660.00 M.N.**

SECCIONES
ESTUDIANTILES
POR 2 AÑOS **\$1,100.00 M.N.**

*Se requerirá documentación que acredite la categoría de correspondencia.

**Persona que ha cubierto su membresía de manera consecutiva durante los últimos tres años

¡AFÍLIATE!

"La química nos une"



soquimex@sqm.org.mx | www.sqm.org.mx

Tel: +5255 56626837; +5255 56626823

20%
de descuento al
pagar la membresía
por dos años.



MEMBRESÍA 2026



GRUPOS / EMPRESA / CORPORATIVA / INSTITUCIONAL

PROFESIONAL

**3 a 6 miembros - 10% de descuento =
\$2,070.00 M.N. por integrante**

**7 miembros en adelante - 15% =
\$1,955.00 M.N. por integrante**

ESTUDIANTE DE POSGRADO

**3 a 6 miembros - 10% de descuento =
\$1,440.00 M.N. por integrante**

**7 miembros en adelante - 15% =
\$1,360.00 M.N. por integrante**

ESTUDIANTE DE LICENCIATURA /SECCIONES ESTUDIANTILES

**3 a 6 miembros - 15% de descuento =
\$550.00 M.N. por integrante**

**7 miembros en adelante - 20% =
\$520.00 M.N. por integrante**

¡AFÍLIATE!

"La química nos une"



soquimex@sqm.org.mx | www.sqm.org.mx

Tel: +5255 56626837; +5255 56626823



MEMBRESÍA 2026



BENEFICIOS

- CUOTAS PREFERENCIALES A LOS CONGRESOS Y OTRAS ACTIVIDADES ACADÉMICAS.
- CURSOS Y TALLERES PRECONGRESO SIN COSTO ADICIONAL.
- DERECHO A PARTICIPAR POR BECAS.
- CONSTANCIAS DE PARTICIPACIÓN DIGITALES SIN COSTO ADICIONAL.
- PRIORIDAD EN ACTIVIDADES ACADÉMICAS.
- DERECHO A FORMAR SECCIONES ESTUDIANTILES.
- DERECHO A DIFUNDIR ACTIVIDADES ACADÉMICAS POR LOS MEDIOS DIGITALES DE LA SQM.
- DERECHO A VOTAR EN LAS ELECCIONES DE LA SQM. (PROFESIONALES)
- DERECHO A POSTULARSE PARA LAS ELECCIONES
- REGALO A SOCIOS QUE RENUEVEN O SE AFILIEN COMO MIEMBROS DURANTE EL RESTO DEL AÑO DE 2025, ASÍ COMO EN ENERO Y FEBRERO DE 2026.
- DESCUENTO EN LA PUBLICACIÓN DE 3 ARTÍCULOS DEL JMCS.

¡AFÍLIATE!

"La química nos une"



soquimex@sqm.org.mx | www.sqm.org.mx

Tel: +5255 56626837; +5255 56626823



Plastificantes en el aire: ftalatos en PM_{2.5} y riesgos para la salud desde una perspectiva de género

Blanca Yessica Carreón Garabito^{1}, Violeta Mugica Álvarez¹, Mario Alfonso Murillo Tovar²*

¹División de Ciencias Básicas e Ingeniería. Universidad Autónoma Metropolitana unidad Azcapotzalco. ²Centro de Investigaciones Químicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

*Área de estudio: Química ambiental *Contacto: al2242800248@azc.uam.mx

Resumen

La exposición a ftalatos ha despertado preocupación debido a su capacidad para alterar el funcionamiento del sistema endócrino, afectando procesos hormonales y reproductivos. La evidencia científica indica que sus efectos pueden manifestarse de manera diferente entre hombres y mujeres, ya que existen variaciones biológicas, ocupacionales y sociales que influyen en los patrones de exposición. Las mujeres suelen presentar mayores niveles de exposición relacionados con el uso frecuente de productos de cuidado personal y permanencia en espacios interiores, mientras que en los hombres la exposición está asociada a determinadas actividades laborales. Este artículo presenta una revisión sobre las características de los ftalatos, su presencia en partículas PM_{2.5} y la importancia de incorporar la perspectiva de género en la evaluación y gestión de estos contaminantes emergentes.

Palabras clave: Ftalatos, PM_{2.5}, Disruptores endócrinos, Perspectiva de género.

Abstract

Phthalate exposure has raised concerns due to its ability to disrupt the endocrine system, affecting hormonal and reproductive processes. Scientific evidence indicates that its effects may manifest differently in men and women, as biological, occupational, and social variations influence exposure patterns. Women tend to have higher exposure levels due to frequent use of personal care products and time spent indoors, while exposure in men is associated with certain occupational activities. This article presents a review of the characteristics of phthalates, their presence in PM_{2.5} particles and the importance of incorporating a gender perspective into the assessment and management of these emerging pollutants.

Keywords: Phthalates, PM_{2.5}, Endocrine disruptors, Gender perspective.

1. Introducción

Inhalamos 14 kilogramos de aire diarios bajo la falsa seguridad de que solo respiramos oxígeno (Hall y Guyton, 2016), la realidad es que los contaminantes atmosféricos viajan con el aire, donde se encuentran distintas familias de compuestos químicos, que se desprenden de diversos productos, entre ellos una amplia variedad de sustancias presentes en la fabricación de uno de los materiales más ubicuos de la vida moderna: el plástico.

Entre esos compuestos se encuentran los ftalatos, sustancias que se emplean como aditivos en la elaboración de los plásticos (como el PVC), para que sean más flexibles y duraderos, llegando a constituir más de la mitad de su peso total (Adibi et al., 2003; Sokołowski et al. 2024). Además el uso generalizado de los ftalatos en productos de cuidado personal y de consumo conlleva a una importante exposición para la población en general, principalmente por ingestión, inhalación y contacto cutáneo (Meeker et al., 2009; Rudel et al. 2003). Se ha observado que estos compuestos forman parte de la compleja composición química de las partículas respirables con un tamaño menor a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$).

Se estima que la producción mundial de ftalatos se encuentra entre 6 y 8 millones de toneladas por año (Ehrampush et al., 2024; Waliszewski et al., 2002). A diferencia de otros componentes del plástico, estas sustancias no están químicamente ligadas a la matriz polimérica, lo que les permite desprenderse con el tiempo, dispersarse en el ambiente y alcanzar el aire que respiramos, adhiriéndose a las $PM_{2.5}$ (partículas que miden 20 veces menos que el diámetro de un cabello) respirables.

La presencia de estos plastificantes en las partículas $PM_{2.5}$ plantea un desafío emergente para la salud humana debido a que son tan pequeñas que al respirarse pueden llegar a lo más profundo de los pulmones (alvéolos) y de ahí transportarse a todo el organismo a través de la sangre.

La exposición a plastificantes puede provocar alteraciones en la actividad endocrina y el desarrollo reproductivo a través de diversos mecanismos biológicos, que pueden afectar diferentes niveles del eje hipotálamo-hipófisis-gónadas/tiroides, desde efectos sobre los receptores hormonales hasta efectos sobre la síntesis, la secreción o el metabolismo de las hormonas (Meeker et al., 2009).

La exposición a los ftalatos no afecta de la misma manera a todas las personas; diversos estudios han señalado que existen diferencias en la respuesta biológica, por lo que el riesgo tiene una marcada perspectiva de género, por lo que, analizar las propiedades fisicoquímicas de los ftalatos y su comportamiento en $PM_{2.5}$ nos permite comprender su presencia ubicua en el ambiente, sus mecanismos de transporte y la exposición diferenciada entre hombres y mujeres.

2. ¿Qué son los ftalatos y por qué están en todas partes?

Los ftalatos son un grupo de sustancias químicas sintéticas que se utilizan desde hace casi un siglo para dar flexibilidad, resistencia y durabilidad a muchos productos plásticos. El término engloba a los ésteres y diésteres del ácido ftálico, una familia de compuestos que hoy se encuentran prácticamente en todas partes: en objetos de uso cotidiano, en el aire, agua, suelo y alimentos. Fueron sintetizados por primera vez alrededor de la década de 1920, su producción y uso se ha incrementado de forma notable con la expansión del cloruro de polivinilo (PVC), un material ampliamente empleado en la industria moderna. (Flaws et al., 2020; Wang y Qian, 2021; Weschler y Nazaroff, 2008).

Los ftalatos son compuestos orgánicos sintéticos poco solubles en agua, pero solubles en disolventes orgánicos. Se introducen en el medio ambiente durante la producción, el uso y la degradación, el envasado y el transporte de productos plásticos. Los ftalatos son

contaminantes del suelo, el agua, el aire, los sedimentos, la biota y los alimentos (Sokołowski et al., 2024).

La forma de su estructura química influye directamente en su comportamiento, en sus aplicaciones industriales y en su potencial impacto en la salud. Según la longitud de la cadena de hidrocarburos, los ftalatos se pueden dividir en dos grupos: de bajo peso molecular (LMW) y de alto peso molecular (HMW). Los ftalatos de LMW incluyen: ftalato de butilbencilo (BBP), ftalato de dibutilo (DBP), ftalato de dietilo (DEP) y ftalato de dimetilo (DMP). El ftalato de di-(2-etilhexil) ftalato (DEHP), ftalato de diheptilo (DHpP), ftalato de diisodecilo (DIDP) y ftalato de diisononilo (DINP) se consideran HMW. Los ftalatos de cadena corta (**Fig. 1**) se utilizan principalmente en disolventes, lubricantes, productos de cuidado personal, textiles, pinturas y adhesivos, mientras que los ftalatos de cadena larga (**Fig. 2**) se emplean sobre todo como plastificantes, ya que permiten que el PVC sea más flexible y resistente (Sokolowski et al., 2024; Guo et al., 2024; Wang y Qian, 2021).

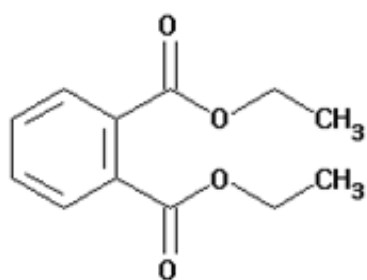


Fig. 1 Dietilftalato (DEP), Ftalato de cadena corta.

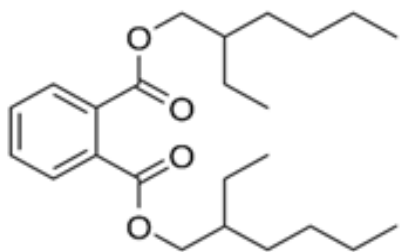


Fig. 2 Bis(2-etilhexil) ftalato (DEHP), Ftalato de cadena larga.

La cantidad de ftalatos añadida al plástico es considerable y puede representar una proporción importante del peso total del material, especialmente en artículos que requieren alta flexibilidad. Un aspecto clave es que estos compuestos no están químicamente unidos al plástico, lo que significa que pueden liberarse con el tiempo (Liu et al., 2019; Ma et al., 2020).

Los ftalatos son compuestos orgánicos que se pueden fugar hacia el aire, migran de manera continua desde productos plásticos de uso cotidiano hacia el aire que respiramos y se unen al plástico de forma relativamente débil mediante enlaces de hidrógeno o fuerzas de Van der Waals. Por lo tanto, pueden liberarse fácilmente de los productos y migrar al entorno circundante durante los procesos de producción, uso y eliminación final. Por lo tanto, se han detectado ftalatos en diversos medios ambientales, como el agua, el aire, los sedimentos, los suelos, las plantas, los alimentos y las bebidas. (Zeng et al., 2017; Liu et al., 2019; Sokolowski et al., 2019; Weschler & Nazaroff, 2008; Wormuth et al., 2006). Esta vía de exposición no es neutral desde una perspectiva de género, ya que los patrones de uso de productos que contienen ftalatos tales como cosméticos, fragancias, productos de cuidado personal y artículos del hogar, difieren entre hombres y mujeres, lo que puede generar niveles de exposición diferentes. En la **Tabla 1** se presentan algunos ftalatos de uso industrial.

Una vez en la atmósfera, los ftalatos se distribuyen entre la fase gas y particulada, mostrando una mayor afinidad por las partículas finas PM_{2.5}, especialmente aquellos más pesados (Pankow, 1994; Xu et al., 2009). Esta asociación es particularmente relevante, ya que la inhalación de PM_{2.5} permite que estos compuestos alcancen regiones profundas del sistema respiratorio y entren al torrente sanguíneo, interactuando con sistemas hormonales que presentan respuestas

Tabla 1. Principales ftalatos de uso industrial

Compuesto	Abreviatura	Usos
Dietilhexil ftalato	DEHP	Plastificante
Dibutil ftalato	DBP	Esmaltes de uñas, Plastificantes, aditivos para adhesivos o tintas de impresión
Dietil ftalato	DEP	Cepillos dentales, partes automotrices, juguetes, empaques de comida, cosméticos
Di-isononil ftalato	DiNP	Plastificante
Di-iso-decil- ftalato	DiDP	Plastificante
Butilbencil ftalato	BBP	Plastificante
Di-isobutil ftalato	DIBP	Plastificante, adhesivo
Diocil ftalato	DnOP	Artículos para el hogar y productos para la construcción; aplicaciones alimentarias.

biológicas distintas entre mujeres y hombres.

En interiores, los ftalatos se acumulan en el polvo doméstico y pueden reincorporarse al aire mediante procesos de resuspensión asociados a la actividad humana, reforzando la exposición por inhalación (Fromme et al., 2004; Bornehag et al., 2005). Este mecanismo cobra especial importancia considerando que las mujeres, en muchos contextos socioculturales, pasan más tiempo en espacios cerrados o realizan actividades domésticas que incrementan la interacción con superficies y polvo contaminado, lo que podría traducirse en una mayor carga corporal de estos compuestos.

Adicionalmente, la liberación de ftalatos al aire puede intensificarse durante procesos de quema de residuos y degradación térmica de plásticos, generando emisiones que se asocian con aerosoles finos y favorecen su transporte atmosférico (Simoneit et al., 2005). La exposición a estas emisiones puede tener implicaciones diferenciadas en la salud

reproductiva y endocrina en la población expuesta.

3. Riesgos para la salud asociados a los ftalatos: una mirada desde la perspectiva de género

La evidencia científica muestra que los ftalatos, considerados disruptores endócrinos, no afectan a todas las personas de la misma manera. Las diferencias de género interactúan con factores sociales como la ocupación, el nivel socioeconómico, el origen étnico y el lugar de residencia, generando patrones de exposición y vulnerabilidad desiguales (Hliseníková et al., 2020).

El sistema endócrino consiste en una serie de glándulas que se distribuyen por todo el organismo, cada una de las cuales produce una o más hormonas. Estas hormonas son sustancias químicas naturales que se liberan al torrente sanguíneo y circulan por todo el cuerpo. Cuando llegan a un órgano diana, se unen a receptores específicos, desencadenando una respuesta parecida a

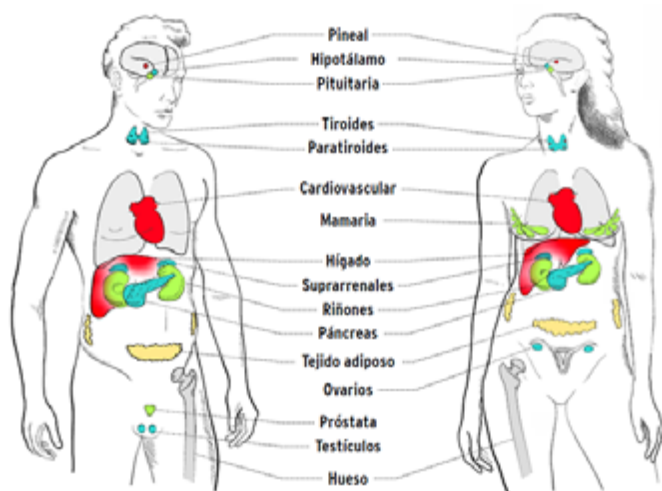


Fig. 3 Visualización del sistema endócrino en hombre y mujer. Fuente: Adaptada de Flaws et al., 2020.

la producción de otra hormona, un cambio en el metabolismo, una respuesta de comportamiento u otras, dependiendo de la hormona específica y su objetivo (Flaws et al., 2020).

El sistema endócrino funciona bajo los mismos principios fisiológicos en hombres y mujeres (ver **Fig. 3**); sin embargo, las variaciones en la regulación hormonal, la producción gonadal y la retroalimentación neuroendocrina generan diferencias relevantes en metabolitos al estrés, salud ósea, riesgo cardiovascular y enfermedades autoinmunes (Hall 2021; Flaws et al., 2020).

3.1 Efectos en mujeres

Las mujeres tienden a presentar mayores niveles corporales de metabolitos de ftalatos debido al uso frecuente de productos de cuidado personal (perfumes, maquillajes, cremas, esmaltes), mayor permanencia en espacios interiores (hogares, escuelas, centros de trabajo), donde los ftalatos liberados de materiales con PVC se acumulan en el aire y el polvo, exposiciones ocupacionales feminizadas como estéticas, peluquerías, guarderías, limpieza y atención en salud, además del uso de dispositivos médicos durante el embarazo o tratamientos prolongados. Estas exposiciones se intensifican en mujeres de bajo nivel socioeconómico, que suelen habitar viviendas con menor ventilación, materiales

más antiguos y cercanía a zonas de alta contaminación atmosférica (Zota et al., 2014; Wang y Qian, 2021).

Diversos estudios han asociado alteraciones hormonales como la disminución de estradiol, desregulación gonadotrópica, disminución de la reserva ovárica y alteraciones en la ovulación. Además de presentar un mayor riesgo de infertilidad, abortos espontáneos y menopausia temprana y una posible relación con el síndrome de insuficiencia ovárica prematura. Durante el embarazo, la inhalación de ftalatos representa un riesgo adicional, ya que estos compuestos pueden atravesar la placenta afectando tanto la salud materna como el desarrollo fetal (Zota et al., 2014; Sokołowski et al., 2023).

Algunas investigaciones han demostrado que mujeres pertenecientes a minorías étnicas presentan concentraciones más elevadas de metabolitos de ftalatos, lo cual se vincula con una mayor exposición ocupacional, menor acceso a productos libres de ftalatos y residencia en zonas urbanas con mayor carga de contaminación ambiental, desde esta perspectiva, la presencia de ftalatos refuerza inequidades estructurales en salud reproductiva (Adibi et al., 2003; Flaws et al., 2020).

3.2 Efectos en hombres

En los hombres existen grupos con alta exposición especialmente trabajadores de industria del plástico, construcción, automotriz, reciclaje y manufactura, ocupaciones con contacto constante con materiales de PVC, solventes y polvo industrial, poblaciones urbanas expuestas de forma crónica a altas concentraciones de partículas $PM_{2.5}$. En hombres de bajo nivel socioeconómico, la combinación de exposición laboral y ambiental incrementa significativamente la carga corporal de ftalatos (Liu et al., 2019; Flaws et al., 2020).

La evidencia indica que la exposición prenatal y temprana en varones se asocia con alteraciones

del desarrollo del sistema reproductor (criptorquidia, hipospadias), reducción de la distancia anogenital, marcador de exposición antiandrogénica y cambios hormonales que pueden afectar la pubertad (Hauser y Calafat, 2005; Hliseníková et al., 2020).

En adultos, la exposición crónica se ha vinculado con la disminución de la calidad del semen (motilidad y concentración), posibles alteraciones en el ADN espermático y riesgos potenciales para la fertilidad y la salud reproductiva a largo plazo, además de que hombres pertenecientes a minorías étnicas y trabajadores operacionales presentan, en promedio, mayores niveles de exposición debido a la mayor presencia de empleos de riesgo ambiental y menor protección laboral (Hliseníková et al., 2020; Flaws et al., 2020).

3.3 Efectos compartidos

La infancia y adolescencia son etapas críticas, la exposición a ftalatos puede alterar el inicio y progresión de la pubertad en niñas y niños, afectar el neurodesarrollo, con respuestas sexo-específicas en conducta, regulación hormonal y funciones cognitivas (Flaws et al., 2020).

En ambos sexos, la exposición crónica a ftalatos se ha asociado a mayor riesgo de obesidad, resistencia a la insulina y diabetes, además del incremento de asma, alergias y síntomas respiratorios, particularmente en poblaciones urbanas. Las mujeres pueden mostrar mayor impacto cardiometabólico relacionado con carga hormonal, mientras que en hombres se observa una mayor asociación con exposición ocupacional y respiratoria (Hall, 2021).

Los riesgos asociados a los ftalatos no pueden entenderse sin considerar las desigualdades de género, raza y ocupación. Las mujeres enfrentan una carga desproporcionada en términos hormonales y reproductivos, mientras que los hombres presentan riesgos vinculados a la fertilidad (Hliseníková et al., 2021; Flaws et al., 2020).

3.4 Implicaciones y prevención: hacia una gestión más equitativa del riesgo

El hecho de que los ftalatos afecten de forma distinta a las personas según su género, trabajo o contexto social nos obliga a transformar la manera en que entendemos y gestionamos las amenazas ambientales y sanitarias. La evidencia disponible responde a patrones estructurales de desigualdad, donde determinados grupos poblacionales, como mujeres, niñas y niños, trabajadores de ciertos sectores y comunidades urbanas vulnerables enfrentan una mayor carga de riesgo (Cauch, 2025).

La incorporación de la perspectiva de género en la evaluación de riesgos revela que las mujeres no solo están más expuestas a ciertos ftalatos, sino que también enfrentan consecuencias más severas en términos hormonales y reproductivos, especialmente durante el embarazo. A su vez, los hombres expuestos en contextos laborales o urbanos presentan riesgos importantes para su salud reproductiva y metabólica. Estas diferencias ponen en evidencia que las políticas ambientales basadas en promedios poblacionales pueden subestimar el riesgo real en grupos específicos (Cauch, 2025; Flaws et al., 2020).

4. Prevención desde el entorno: aire limpio y espacios seguros

Considerando que la inhalación es una vía crítica de exposición en las ciudades, cualquier estrategia de prevención efectiva debe centrarse en el mejoramiento de la calidad de aire. La reducción de emisiones de partículas finas, la regulación de materiales plásticos en espacios interiores y la vigilancia de contaminantes emergentes en $PM_{2.5}$, son acciones clave para disminuir la exposición crónica a ftalatos (Liu et al., 2019).

Es necesario promover medidas en espacios cerrados como hogares, escuelas y hospitales donde exista mejor ventilación y mantenimiento de interiores, sustitución progresiva de materiales con PVC por alternativas más

seguras, control de polvo doméstico, el cual actúa como reservorio de ftalatos. Estas medidas adquieren especial relevancia en contextos de desigualdad socioeconómica, donde las condiciones habitacionales suelen incrementar la exposición ambiental (Hauser y Calafat, 2005).

La prevención también implica fortalecer la información disponible para la población permitiendo decisiones más conscientes sobre el uso de productos que contienen ftalatos. El acceso a alternativas más seguras, el etiquetado claro y la regulación de productos de uso cotidiano son elementos clave para reducir la exposición. Además, es necesaria la gestión equitativa del riesgo mediante acciones estructurales, donde autoridades, industria y sociedad comparten la responsabilidad de reducir la presencia de estos contaminantes en el ambiente.

5. Conclusiones

Los ftalatos forman parte de una familia de compuestos químicos ampliamente utilizados en productos de consumo cotidiano y materiales plásticos que tienen la capacidad de desprenderse y transportarse en partículas finas PM_{2.5}, convirtiéndose en contaminantes atmosféricos de creciente preocupación. Su presencia en el aire representa una vía de exposición menos visible que la ingestión o el contacto dérmico, pero potencialmente relevante por la capacidad de estas partículas de alcanzar regiones profundas del sistema respiratorio e ingresar al torrente sanguíneo.

La evidencia científica disponible muestra que los efectos de los ftalatos sobre la salud no son uniformes en toda la población, factores biológicos, ocupacionales y sociales generan diferencias importantes en los patrones de exposición y vulnerabilidad entre mujeres y hombres, particularmente en relación con las funciones del sistema endócrino y reproductor. Esta perspectiva permite comprender que los riesgos asociados a estos contaminantes

no dependen únicamente de su toxicidad, sino también de las condiciones en las que las personas viven, trabajan y se desarrollan. Ante este escenario, resulta fundamental el monitoreo de contaminantes emergentes en el aire, promover alternativas más seguras a los plastificantes convencionales y desarrollar estrategias de prevención que consideren las desigualdades de género y las condiciones de vulnerabilidad social. Comprender cómo los ftalatos llegan al aire que respiramos es un paso necesario para diseñar políticas orientadas a proteger la salud humana y avanzar hacia entornos más seguros y sostenibles.

Referencias

1. Adibi JJ, Perera FP, Jedrychowski W, Camann DE, Barr D, Jacek R, Whyatt RM. Prenatal exposures to phthalates among women in New York City and Krakow, Poland. *Environ Health Perspect.* 2003 Nov;111(14):1719-22. Doi: [10.1289/ehp.6235](https://doi.org/10.1289/ehp.6235).
2. Bornehag CG, Lundgren B, Weschler CJ, Sigsgaard T, Hagerhed-Engman L, Sundell J. Phthalates in indoor dust and their association with building characteristics. *Environ Health Perspect.* 2005 Oct;113(10):1399-404. Doi: [10.1289/ehp.7809](https://doi.org/10.1289/ehp.7809).
3. Fromme, H., Lahrz, T., Piloty, M., Gebhart, H., Oddoy, A., Rüdén, H. Occurrence of phthalates and musk fragrances in indoor air and dust from apartments and kindergartens in Berlin. *Indoor Air*, 2004 14(3), 188–195. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2004.00223.x>.
4. Hall, J. E. (2021). Guyton y Hall. Tratado de fisiología médica (14ª ed.). Elsevier.
5. Hasan E. M. Abouee E., Arfaeina H., Soltanian Z., Ghorbanian M., Ghalehaskari S. Occurrence, distribution and risk assessment of phthalate esters in dust deposited in the outdoor environment of Yazd industrial park using Monte Carlo simulation. *Heliyon*.(2024). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e37500>.
6. Hauser, R., Calafat, A. M. Phthalates and human health. *Occupational and Environmental Medicine*, (2005) 62(11), 806–818. <https://doi.org/10.1136/oem.2004.017590>.
7. Hliseníková H., Petrovičová I., Kolena B., Šidlovská M., Sirotkin A., Effects and Mechanisms

of Phthalates' Action on Reproductive Processes and Reproductive Health: A Literature Review. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2020, 17, 6811. Doi: [10.3390/ijerph17186811](https://doi.org/10.3390/ijerph17186811).

8. Kashyap, D., Agarwal, T. Concentration and factors affecting the distribution of phthalates in the air and dust: A global scenario. *Science of The Total Environment*, (2018) 635, 817–827. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.158>.
9. Liu Y, Caiye Ji, Bo Fu, Yongxin Yu, Haofeng Liu Yaxing Shen. The cumulative characteristics of PAEs in PM_{2.5} in Changji, Northwest China, *Physical Geography*, (2019). Doi: [10.1080/02723646.2019.1672022](https://doi.org/10.1080/02723646.2019.1672022).
10. Meeker, J. D.; Sathyanarayana, S.; Swan, S. H. Phthalates and other additives in plastics: human exposure and associated health outcomes. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, (2009) 364(1526), 2097–2113. Doi: [10.1098/rstb.2008.0268](https://doi.org/10.1098/rstb.2008.0268).
11. Pankow, J. F. An absorption model of gas/particle partitioning of organic compounds in the atmosphere. *Atmospheric Environment*, (1994) 28(2), 185–188. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)90093-0](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)90093-0).
12. Sokołowski A., Kończak M., Oleszczuk P., Gao Y., Czech B. Environmental and Food Contamination by Phthalic Acid Esters (PAEs): Overview. *Water Air Soil Pollut* (2024) 235:313. <https://doi.org/10.1007/s11270-024-07121-5>.
13. Simoneit, B. R. T., Medeiros, P. M., Didyk, B. M. Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere. *Environmental Science & Technology*, (2005) 39(18), 6961–6970. <https://doi.org/10.1021/es050767x>.
14. Ventrice, P., Ventrice, D., Russo, E., De Sarro, G. Phthalates: European regulation, chemistry, pharmacokinetic and related toxicity. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, (2013) 36(1), 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2013.03.014>.
15. Wang, Y.; Qian, H. Phthalates and Their Impacts on Human Health. *Healthcare*, (2021) 9, 603. <https://doi.org/10.3390/healthcare9050603>.
16. Weschler, C. J., Nazaroff, W. Semivolatile organic compounds in indoor environments. *Atmospheric Environment*, (2008) 42(40), 9018–9040. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.052>.
17. Wormuth, M., Scheringer, M., Vollenweider, M., Hungerbühler, K. What are the sources of exposure to eight frequently used phthalic acid esters in Europeans? *Risk Analysis*, (2006) 26(3), 803–824. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2006.00770.x>.
18. Xu Y, Cohen Hubal EA, Little JC. Predicting residential exposure to phthalate plasticizer emitted from vinyl flooring: sensitivity, uncertainty, and implications for biomonitoring. *Environ Health Perspect.* (2010) Feb;118(2):253–8. Doi: [10.1289/ehp.0900559](https://doi.org/10.1289/ehp.0900559).
19. Zeng, H.-H., Zhang, H.-X., Wu, X., Gu, H.-X., Zhang, L.-Z., Liu, Y.-Y., Zhao, X.-F., & Li, J.-H. Pollution levels and health risk assessment of particulate phthalic acid esters in arid urban areas. *Atmospheric Pollution Research*, (2017) 8(1), 188–195. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2016.08.009>.
20. Zota, A. R., Calafat, A. M., & Woodruff, T. J. Temporal Trends in Phthalate Exposures: Findings from the National Health and Nutrition Examination Survey, 2001–2010. *Environmental Health Perspectives*, (2014) 122(3), 235–241. <https://doi.org/10.1289/ehp.1306681>.

Errores en el uso de medicamentos: cómo detectarlos y prevenirlos

Damaris Jael Trujillo Gutierrez^{1}, Martha Diaz Flores², Mayred Yeselin León García³, Mariana Ortiz Reynoso⁴*

¹Facultad de Química, UAEMéx/SECIHTI, ²Facultad de Química, UAEMéx, ³Centro Médico Toluca/COMECyT, ⁴Secretaría de Vinculación, Extensión y Promoción de la Empleabilidad, UAEMéx.

*Área de estudio: Química farmacéutica y medicinal *Contacto: damagtz@gmail.com



Cuando pensamos en un error de medicación, enseguida imaginamos algo evidente: una dosis incorrecta, una receta errónea o una negligencia clara. Pero la mayoría de los errores de medicación no se ven así; suceden en silencio, en un cambio ligero, en decisiones que parecen acertadas y casi nunca tienen un culpable evidente.

Los errores de medicación se definen como “todos aquellos eventos prevenibles que pueden causar daño o conducir al uso inadecuado de un medicamento mientras éste

se encuentra bajo el control de un profesional de la salud, paciente o consumidor”.

Es importante comprender que estos errores tienen una naturaleza multifactorial, lo que quiere decir que no son aislados, sino más bien implican diversos factores que pueden propiciar su aparición, como la interacción humana, la sobrecarga laboral, interrupciones frecuentes, fallas en la prescripción, etiquetado inadecuado, similitud en nombres o presentaciones de medicamentos y errores en la verificación de dosis.

1. Errores de medicación que no parecen errores

¿Alguna vez has tomado una tableta extra creyendo que así el medicamento haría efecto más rápido?, ¿has cambiado el horario de tus medicamentos porque “así te acomodan más”?, o ¿has suspendido tu tratamiento porque ya te sentías mejor? Pueden parecer decisiones sensatas, no lucen graves ni generan alarma, pero la realidad es que son errores de medicación que podrían estar pasando desapercibidos.

Estos son algunos de los más frecuentes:

1.1 Confundir marcas comerciales

Un mismo medicamento puede venderse con distintos nombres y presentaciones. A simple vista para el consumidor parecen medicamentos distintos, las cajas cambian de color, el diseño es diferente e incluso el nombre comercial cambia. Pero la realidad es que contienen el mismo principio activo. Como resultado, hay un error de medicación por duplicación sin saberlo.

Aunque pueda parecer un descuido, esto ocurre con más frecuencia de lo que imaginamos, especialmente cuando un paciente es atendido por distintos médicos, adquiere el medicamento en diferentes farmacias, o cuando en la receta se anota el nombre comercial del medicamento en lugar de su principio activo.

Nadie tuvo la intención de equivocarse. Simplemente, la información no fue lo suficientemente clara.

1.2 Cambiar horarios

Las frases “me lo tomo cuando me acuerdo”, “mejor junto todos los medicamentos en la mañana”, “mejor me lo tomo antes de dormir, así no me molesta” ¿te suenan familiares?

La verdad es que la mayoría hemos cambiado el horario en que tomamos un medicamento, ya sea por olvido, descuido o simplemente por

comodidad, y es que modificar horarios puede parecer un ajuste menor sin consecuencias. Sin embargo, algunos medicamentos necesitan intervalos específicos para funcionar correctamente o para evitar efectos secundarios. Entonces, pequeños cambios pueden alterar su eficacia o aumentar el riesgo de reacciones adversas, y como la modificación la hace el propio paciente, muchas veces no se menciona en consulta, por lo que puede pasar inadvertido para el médico.

1.3 Suspender el tratamiento

Si ya me siento mejor, ¿para qué seguir tomando el medicamento? Es un razonamiento comprensible, no parece un error, más bien suena a sentido común. Pero el problema es que algunos tratamientos como antibióticos o medicamentos para enfermedades crónicas o ciertas infecciones, necesitan completarse, aunque los síntomas ya hayan desaparecido.

Interrumpir medicamentos antes de tiempo puede tener consecuencias como recaídas, resistencia bacteriana o descontrol de la enfermedad. Lo que provocará que los tratamientos se alarguen o deban ser cambiados por medicación más fuerte.

1.4 Compartir medicamentos

Compartir medicamentos transforma una buena intención en un riesgo innecesario. “A mí me funcionó, pruébalo”; “es lo mismo que te recetaron, solo que me sobró”; “yo me sentía igual y con esto se me quitó, tómatelo”. Cuántas veces hemos caído en recomendar medicamentos a amigos y familiares o tomar lo que ellos nos recomiendan. Sin embargo, cada persona tiene condiciones distintas, antecedentes diferentes, y lo que para ti es seguro, puede no serlo para alguien más. Tomar medicamentos que no han sido recetados y evaluados por un profesional de la salud es de los errores de medicación más comunes en nuestro país y el riesgo que conlleva es completamente evitable si usamos los medicamentos con responsabilidad.

1.5 Duplicar un medicamento sin darse cuenta

Este error es más común en entornos hospitalarios, imaginemos que un médico prescribe un medicamento en urgencias, el especialista agrega otro en consulta externa y el médico familiar ajusta el tratamiento semanas después. Las decisiones parecen ser correctas, el problema surge cuando no existe una lista actualizada y completa de todos los medicamentos que la persona está tomando, ya que el paciente asume que cada profesional ya sabe lo que le indicaron antes, mientras que el médico confía en la información disponible y entonces la duplicación pasa inadvertida. En estas situaciones también pueden ocurrir interacciones medicamentosas no por descuido, sino por falta de información.

Todos estos casos comparten algo importante: no parecen errores. Son decisiones cotidianas, ajustes pequeños o malentendidos que ocurren en casa, en consulta o en farmacia. Y precisamente es eso lo que los vuelve peligrosos, porque nadie los identifica como un problema hasta que aparecen las consecuencias, pero ¿por qué nadie los detecta antes?

Como ya mencionamos, el uso de medicamentos involucra distintas etapas, y en cada una participan personas distintas como médicos, enfermeras, farmacéuticos y pacientes. Por lo que, cuando la información no fluye con claridad entre todos, pueden aparecer pequeñas fallas que pasan desapercibidas. A esto se suma el poco tiempo en consulta y la gran cantidad de información que debe revisarse. A veces, el paciente puede no recordar nombres exactos o puede pensar que algún dato “no es importante” y en esos pequeños vacíos de comunicación es donde pueden surgir los errores.

Popularmente, cuando ocurre un error en el área de la salud, la reacción inmediata es buscar culpables. No obstante, la seguridad no depende de un solo profesional. La evidencia ha mostrado que la mayoría de los errores de

medicación no se originan en la mala intención o descuido de una persona, sino en fallas propias del sistema. Y un paso fundamental para prevenir que estos errores se repitan es cambiar el “¿quién se equivocó?” a “¿qué parte del proceso puede mejorar?”.

2. Recomendaciones

Ahora que sabemos qué son los errores de medicación y cómo detectarlos, ¿cuál es la mejor forma de prevenirlos? A continuación, una lista de recomendaciones que puedes seguir como paciente y como profesional de la salud según sea el caso:

2.1 Como paciente:

- Llevar una lista actualizada de todos los medicamentos que estás tomando (incluyendo dosis y horarios).
- Preguntar siempre si un nuevo medicamento sustituye o se agrega a los anteriores.
- No modificar dosis ni horarios sin consultar.
- Informar todos los productos que se consumen, incluso suplementos o remedios “naturales”.

2.2 Como profesional de la salud:

- Verificar en cada consulta la lista completa de medicamentos.
- Confirmar el principio activo, no solo la marca comercial.
- Explicar claramente cualquier cambio en el tratamiento.
- Fomentar que el paciente pregunte y participe.

Entender la seguridad en el uso de medicamentos no siempre es fácil, pero nos permite ver el problema desde otra perspectiva. La prevención de errores no depende de una sola persona, sino de todos los involucrados; la información debe ser siempre clara, la comunicación constante y debemos verificar esto en cada etapa del tratamiento.

Hacer preguntas, revisar los medicamentos que tomamos y mantener una comunicación abierta con nuestros médicos, son acciones simples que pueden marcar una gran diferencia, recuerda que preguntar y confirmar no es una exageración, es cuidarte.

Muchos errores de medicación no se ven como errores y reconocerlos es el primer paso para prevenirlos. Tu seguridad también está en tus manos.

Referencias

1. Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS). (s.f.). Farmacovigilancia: guías, lineamientos y requerimientos. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/cofepris/documentos/guias-lineamientos-y-requerimientos-de-farmacovigilancia>.
2. Endara, E., Váscquez, O., Villacis, W., & Morales, M. (2024). Errores de medicación: una revisión bibliográfica. *Vozandes*, 35(1), 35-37. <https://revistamedicavozandes.com/wp-content/uploads/2024/07/v35i14.pdf>.
3. National Coordinating Council for Medication Error Reporting and Prevention. (2026) What is a Medication Error. <https://www.nccmerp.org/about-medication-errors>.
4. Nouri, A., et al. (2024). Defining Medication Errors, Prescribing Errors, and Adverse Drug Events: A Narrative Review. *Palestinian Medical and Pharmaceutical Journal*, 9(3), 323-336. <https://doi.org/10.59049/2790-0231.1204>.
5. Organización Mundial de la Salud. (2023). Patient safety. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/patient-safety>.
6. Ortiz, M. I., Flores-Ceron, K. I., & Muñoz-Pérez, V. M. (2022). Self-medication practice in Mexico. *The Senior Care Pharmacist*, 37(7), 266-283. <https://doi.org/10.4140/TCP.n.2022.266>.
7. Peña, D. L., et al. (2024). Impacto de la farmacovigilancia en la prevención y resolución de los problemas relacionados con los medicamentos (PRM) en la comunidad. [Proyecto aplicado]. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/65519>.
8. Tariq, R. A., Vashisht, R., Sinha, A., & Scherbak, Y. (2023). Medication dispensing errors and prevention. *StatPearls*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519065/>.
9. Vargas López, L. C., Wirtz, V. J., & Reich, M. R. (2022). Pharmaceutical services in public hospitals in Mexico: a cross-sectional study. *The International journal of pharmacy practice*, 30(2), 143-152. <https://doi.org/10.1093/ijpp/riac015>.
10. Villegas, F., et al. (2018). La importancia de la farmacovigilancia intrahospitalaria en la detección oportuna de los errores de medicación. *Gaceta Médica de México*, 154(2), 599. <https://doi.org/10.24875/GMM.18002549>.

Microplásticos, macroproblemas

Rubén Fabrizio Brito González¹, Luz Verónica Reyes Bañuelos¹, Ramses Meza Mendoza¹, Oscar Daniel Máynez Navarro¹, T. Alexandra Ferreira García^{1}*

¹Escuela de Ciencias de la Salud, Universidad del Valle de México (UVM) Campus Puebla.

*Área de estudio: Química analítica, productos naturales, química de alimentos y química ambiental *Contacto: thania.ferreira@uvmnet.edu



Fig. 1 Impacto de la presencia de microplásticos en el medio ambiente, fenómenos de bioacumulación y biomagnificación.

Resumen

Los microplásticos son generados a partir de desechos antropogénicos. Dichos residuos poseen un tamaño de partícula inferior a los 5mm. Con estas dimensiones logran afectar a la flora y fauna por medio de alteraciones a sus ciclos metabólicos y bioacumulándose con el tiempo; más aún pudiendo afectar a la cadena trófica por medio de la biomagnificación. Ya hay evidencia que al ser parte de la cadena trófica los seres humanos, podemos llegar a sufrir alteraciones en diversos sistemas presentes en el cuerpo. Gracias a la presencia de afectaciones tanto en flora y fauna por parte de los microplásticos, se ha vuelto de importancia la divulgación del tema.

Palabras clave: Microplásticos (MP), bioacumulación, biomagnificación.

1. Introducción

El desarrollo de la humanidad y la búsqueda constante de conocimiento han brindado a la sociedad diversas maneras de mejorar la calidad de vida a través de la innovación. Uno de los inventos más revolucionarios son los plásticos, materiales que hoy encontramos en todo nuestro entorno, especialmente en las zonas urbanas.

Para entender la importancia de los plásticos en la actualidad, es necesario remontarse a la antigüedad. Uno de los primeros antecedentes de los plásticos es el uso del látex crudo, extraído del árbol *Hevea brasiliensis*, por las culturas mesoamericanas. Siglos más tarde, este material se perfeccionó mediante el proceso de vulcanización -Un proceso químico que involucra el uso de azufre y vuelve a este material resistente a la temperatura y al desgarre- (Enciclopedia Universal, 2020)-. Sin embargo, el gran salto ocurrió a principios del siglo XX con la baquelita, el primer plástico 100 % sintético, crucial para la fabricación de teléfonos, radios, partes de automóviles y electrodomésticos, de acuerdo con Daniel C. et al. (2008).

Posteriormente, la Segunda Guerra Mundial impulsó la necesidad de buscar materiales más ligeros y económicos para la campaña militar (García 2009). Esto detonó una producción masiva posguerra de nuevos polímeros como el Nylon, PVC, PET, el polietileno (PE) y el polipropileno (PP), los cuales se adaptaron rápidamente a objetos cotidianos como ropa, muebles y juguetes. Estos materiales no solo fueron creados para ser resistentes y económicos, sino para ser prácticamente eternos. Aquí radica la raíz de la problemática actual; hoy en día, esta enorme cantidad de plástico no desaparece; se fragmenta (Reina y Gómez, 2016).

2. Microplásticos

Alguna vez te has preguntado ¿qué pasa con los plásticos que son desechados diariamente? Ya sean botellas, bolsas, tapas o incluso los inolvidables “tazos” de nuestra infancia, la gestión de estos residuos es un gran desafío. De acuerdo con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT, 2024), los plásticos se clasifican según su composición química para ser procesados en plantas de reciclaje y convertirse nuevamente en materia prima. Idealmente, este flujo se rige por el “triángulo de Möbius”, el símbolo universal de las tres “R”: Reciclar, Reducir y Reutilizar (Organización Internacional de Normalización, ISO, 2016).

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2025) reporta que, durante 2022, se recolectaron diariamente en México 108,146 toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). El 66.7% se recogió casa por casa, el 24.9 %, en un punto de recolección establecido y 8.4 %, mediante sistemas de contenedores. Aquellos materiales que no pueden reciclarse suelen aprovecharse como fuente de energía industrial para evitar su acumulación en vertederos. Sin embargo, surge una pregunta importante: ¿qué ocurre con aquellos plásticos que son olvidados, que no llegan a los sistemas de gestión y permanecen expuestos en el entorno?

Con el tiempo, los plásticos abandonados sufren un proceso de degradación física y química que los fragmenta en partículas muy pequeñas conocidas como microplásticos (MP). El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) los define como “partículas de plástico de menos de 5 milímetros que contienen polímeros y aditivos que pueden resultar tóxicos” (National Geographic, 2024). Además de la fragmentación de basura visible, los MP también se originan de forma primaria por el desgaste de productos cotidianos como neumáticos, textiles sintéticos y revestimientos.

Tabla 1. Plásticos y sus aplicaciones comunes

Siglas	Nombre Químico	Propiedades Comunes	Aplicaciones Cotidianas
PET	Tereftalato de polietileno	Duro, rígido, barrera contra el aire.	Botellas de refresco, bandejas de alimentos.
HDPE	Polietileno de alta densidad	Resistente a altas temperaturas, versátil.	Envases de leche, productos de limpieza, tapas.
PVC	Policloruro de vinilo	Altamente duradero y resistente.	Tuberías, fontanería, materiales de construcción.
LDPE	Polietileno de baja densidad	Suave, flexible, económico.	Bolsas de supermercado, papel film, recubrimientos.
PP	Polipropileno	Resistente al calor y a reacciones químicas.	Pajitas (popotes), bolsas de frituras, envases médicos.
PS	Poliestireno	Económico, excelente aislante térmico.	Vasos y platos desechables, estuches de CD.
Otros	Mezclas / Polímeros especiales	Propiedades complejas en investigación.	Dispositivos médicos, piezas de ingeniería.

Nota. Adaptado de *Estos son los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo y los objetos cotidianos en los que se encuentran*, por National Geographic, 2024.

Para comprender el impacto de estos materiales, es necesario identificar a los polímeros matrices que las originan en el entorno (**Tabla 1**).

Hoy en día los microplásticos representan una contaminación silenciosa que se dispersa de manera constante. El agua, el aire y el suelo no funcionan de forma aislada, sino que constituyen un sistema ambiental interrelacionado. Las partículas suspendidas en la atmósfera viajan largas distancias y son arrastradas por la lluvia hacia los cuerpos de agua. Según Chandra y Walsh (2024), el agua transporta un enorme volumen de microplásticos provenientes de la degradación de desechos urbanos; desafortunadamente, aunque las plantas de tratamiento de aguas residuales retienen una parte significativa, el flujo masivo de agua tratada sigue liberando

estas partículas al entorno. Finalmente, el suelo se convierte en el mayor depósito de estos residuos. Un estudio publicado en *Ecotoxicology and Environmental Safety* por Bodor et al. (2024) destaca que el suelo es un enorme reservorio donde la contaminación por MP pasa desapercibida, alterando los ciclos biogeoquímicos (**Fig. 1**).

3. Impacto en la flora, fauna y la cadena alimentaria

La presencia de MP en el medio ambiente facilita la contaminación involuntaria de los seres vivos a través de fenómenos de bioacumulación y biomagnificación.

La bioacumulación se refiere a la acumulación de un contaminante en un organismo desde cualquier fuente de exposición, incluyendo el aire, el agua y el alimento (Carriquiriborde,

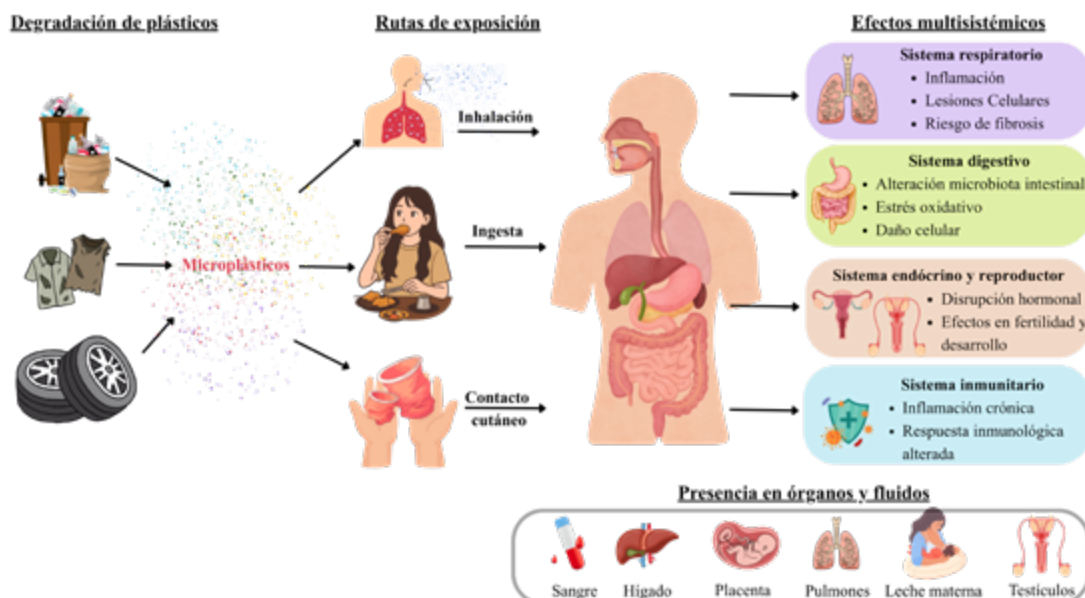


Fig. 2. Impacto de los MP en la salud humana.

2021). El proceso de afectación de MP hacia los humanos comienza con la ingesta de alimentos contaminados provenientes de actividades como la ganadería, la agricultura, la pesca y la caza. Esto es provocado por el consumo de dichos materiales por parte de los animales y/o absorción en plantas, donde es difícil su descomposición. Por otro lado, el término biomagnificación hace referencia al incremento de la concentración de un contaminante al transferirse de un nivel trófico a otro a lo largo de la cadena alimentaria (Carriquiriborde, 2021).

Esteciclocomienza cuandolas plantas absorben micropartículas por las raíces o cuando los animales las ingieren. En el entorno terrestre, las fibras plásticas modifican la estructura del suelo, creando canales artificiales que aceleran la evaporación del agua y provocan la sequedad temprana de la tierra, afectando directamente a la agricultura (Mattias, 2019). Asimismo, interfieren con los microorganismos del suelo, provocando la inmovilización de nutrientes esenciales.

En la fauna silvestre, los efectos son devastadores. Yong y colaboradores (2020) señalan que la ingesta de plásticos genera una falsa sensación de saciedad en los animales, lo

que conduce a la desnutrición. Además, estas partículas actúan como imanes de sustancias tóxicas, capaces de lesionar órganos, alterar el comportamiento, alojarse en el cerebro y, de manera alarmante, transferirse de madres a crías, comprometiendo el futuro de las especies.

4. Riesgos para la salud humana

Los seres humanos no estamos exentos de esta exposición permanente que va más allá de lo ambiental (Saha y Saha, 2024). Un estudio realizado por investigadores del CINVESTAV y la UNAM (2023) titulado “The 3Ps” (Progress, problems and prospects) confirma que los micro y nanoplásticos ingresan al cuerpo humano principalmente a través de tres vías: ingestión de alimentos y agua contaminados, inhalación de aire urbano y, potencialmente, por contacto cutáneo.

Una vez dentro del organismo, la presencia de estos plásticos -que oscilan entre los 800 nm y los 5 mm- tiene un impacto multisistémico. Experimentos celulares y en modelos animales liderados por Yong y colaboradores (2020) demostraron afectaciones directas en los sistemas digestivo, respiratorio, endócrino, reproductor e inmunológico. La evidencia de ello es el hallazgo de partículas plásticas en

muestras biológicas humanas críticas, como pulmones, hígado, sangre, placenta, testículos y leche materna (**Fig. 2**).

5. Conclusión

Lo que en su momento nació como un objeto cotidiano y accesible regresa a nosotros de una manera que no imaginábamos: el plástico no desaparece, se introduce en nuestras células. Nos enfrentamos a una alteración biológica silenciosa derivada del uso de materiales diseñados para durar siglos, pero consumidos en cuestión de minutos.

Si bien los programas gubernamentales de gestión de RSU y las campañas de educación ambiental son indispensables, limpiar y reciclar ya no es suficiente; es urgente replantear nuestros patrones de consumo. La solución a este problema, provocado por la humanidad, podría encontrarse en la misma naturaleza. El uso de metodologías innovadoras basadas en la biotecnología, específicamente mediante el aprovechamiento de microorganismos con capacidades adaptativas y evolutivas para degradar polímeros, se considera como una de las rutas científicas más prometedoras (Yoshida et al., 2016). La salud humana es el fiel reflejo de la salud del planeta; aún estamos a tiempo de cambiar el rumbo para asegurar que lo que perdure en la tierra sea la vida y no el plástico.

Esta lectura presenta una oportunidad para reflexionar sobre el impacto del uso diario y constante de plásticos, así como la importancia de encontrar soluciones innovadoras para reducir los efectos negativos en flora y fauna y lograr la preservación de estos.

Referencias

1. Bodor, A., Feigl, G., Kolossa, B., Mészáros, E., Laczi, K., Kovács, E., Perei, K., y Rákhely, G. (2024). Suelos en crisis: Impactos y riesgos ecológicos de la contaminación por (micro)plásticos en el medio ambiente terrestre. *Ecotoxicología y seguridad ambiental*, 269, 115807. DOI: [10.1016/j.ecoenv.2023.115807](https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115807).
2. Chandra, S., y Walsh, K. B. (2024). Microplastics in water: Occurrence, fate and removal. *Journal of Contaminant Hydrology*, 264, 104360. <https://doi.org/10.1016/j.jconhyd.2024.104360>.
3. Carriquiriborde, P. (2021). *Biodisponibilidad, bioconcentración, bioacumulación y biomagnificación de los contaminantes* (pp. 62–92). En P. Carriquiriborde (Comp.), *Principios de ecotoxicología*. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/131168>.
4. Daniel Crespy, Marianne Bozonnet y Martin Meier (14 de abril del 2008), 100 Years of Bakelite, the Material of a 1000 Uses. *Angewandte Chemie International Edition*. [10.1002/anie.200704281](https://doi.org/10.1002/anie.200704281).
5. Enciclopedia Universal. (s.f.). *Historia del plástico*. Recuperado el 8 de mayo de 2026, de <https://enciclopediauniversal.com/historia-del-plastico/>.
6. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2025). Estadísticas a propósito del Día Mundial del Medio Ambiente (5 de junio) (Comunicado de prensa 65/25). INEGI. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2025/EAP_MedioAmb_25.pdf.
7. Kutralam-Muniasamy, G., Shruti, V. C., Pérez-Guevara, F., y Roy, P. D. (2023). Microplastic diagnostics in humans: “The 3Ps” Progress, problems, and prospects. *Science of The Total Environment*, 856(2), 159164. DOI: [10.1016/j.scitotenv.2022.159164](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159164).
8. Mattias C. Rilling, Anika Lehmann, A. Abel de Souza Machado y Gaowen Yang (19 de marzo del 2018), Microplastics effects on plants, *New Phytologist*, <https://doi.org/10.1111/nph.15794>.
9. National Geographic. (23 de abril del 2024). Estos son los 7 tipos de plásticos que existen en el mundo y los objetos cotidianos en los que se encuentran. <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/04/estos-son-los-7-tipos-de-plasticos-que-existen-en-el-mundo-y-los-objetos-cotidianos-en-los-que-se-encuentran>.
10. National Geographic. (17 de diciembre de 2024). ¿Qué son los microplásticos y qué tipos existen? <https://www.nationalgeographicla.com/medio-ambiente/2024/12/que-son-los-microplasticos-y-que-tipos-existen>.
11. Niyitanga Evode, Sarmad Ahmad Qamar, Muhammad Bilal, Damia Barcelo, Hafiz M. N. Iqbal, (2021), Plastic waste and its management strategies for environmental sustainability, *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*.

12. Organización Internacional de Normalización. (2016). Etiquetas y declaraciones ambientales — Afirmaciones ambientales autodeclaradas (Etiquetado ambiental Tipo II) (ISO 14021:2016). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14021:ed-2:v1:es>.
13. Pimentel, J. (23 de julio de 2018). Una vida de plástico. Ciencia UNAM. <https://ciencia.unam.mx/leer/766/una-vida-de-plastico>.
14. Reina, P. y Gómez, F. (2016). Microplásticos. Vivir sin plástico. <https://vivirsinplastico.com/microplasticos>.
15. Saha, S. C., & Saha, G. (2024). Effect of microplastics deposition on human lung airways: A review with computational benefits and challenges. *Heliyon*, 10(2), e24355. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e24355>.
16. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (3 de julio de 2024). Sector ambiental federal invita a “meter un gol por el ambiente” con la gestión circular de plásticos y textiles. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/semarnat/prensa/sector-ambiental-federal-invita-a-meter-un-gol-por-el-ambiente-con-la-gestion-circular-de-plasticos-y-textiles-421757>.
17. Sergio García (Noviembre del 2008), Referencias históricas y evolución de los plásticos. *Revista Iberoamericana de polímeros* García, Vol. 10(1), <https://reviberpol.org/wp-content/uploads/2019/07/2009-garcia.pdf>.
18. 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>.
19. Yoshida, S., Hiraga, K., Takehana, T., Taniguchi, I., Yamaji, H., Maeda, Y., Toyohara, K., Miyamoto, K., Kimura, Y., y Oda, K. (2016). A bacterium that degrades and assimilates poly(ethylene terephthalate). *Science*, 351(6278), 1196-1199. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>.

Emergencia radiactiva: una mirada química al accidente de Goiania

Martín Caldera Villalobos^{1*}

¹ Universidad Americana del Noreste.

*Área de Estudio: Química de materiales e Historia de la química *Contacto: 104962@uane.mx, martincalderavillalobos@gmail.com



1. Una tragedia que llegó a Netflix

¿Cómo puede un puñado de polvo blanco poner en crisis a una ciudad entera? Algunas de las tragedias tecnológicas más graves del siglo XX comenzaron con un material aparentemente inofensivo. Sin embargo, un polvo blanco puede ser el inicio de un accidente radiológico.

La miniserie brasileña *Emergencia Radiactiva*, estrenada recientemente por Netflix, ofrece una oportunidad para explorar los acontecimientos ocurridos en 1987 en la ciudad de Goiania donde la dispersión accidental de cesio radiactivo en varios puntos de la ciudad desató un caos sin precedentes.

La historia comienza con dos jóvenes internándose en el edificio abandonado de una antigua clínica de radioterapia, donde han encontrado un objeto metálico sumamente pesado. Días después de haberlo vendido a una chatarrería, empiezan a sufrir náuseas, vómitos, caída de cabello y quemaduras en la piel. Paralelamente, la familia y empleados del chatarrero padecen los mismos síntomas y han empezado a ser hospitalizados.

El médico que los atiende sospecha que sufren el síndrome de radiación aguda. La causa parece ser el objeto llevado a la chatarrería y un polvo blanco que estaba en su interior.

Para disipar sus dudas se pone en contacto con Marcio, un joven físico nuclear que con escepticismo acepta hacer algunas mediciones para comprobar si el objeto misterioso era fuente de radiación. Lo que descubre es devastador, el objeto de la chatarrería es altamente radiactivo y todos se encuentran expuestos a un grave peligro.

Este hallazgo desencadena la trama de la serie y a partir de ahí nos muestra varias historias que se entrelazan: los científicos que intentan contener la crisis, los pacientes que intentan sobrevivir, los médicos que luchan por salvar vidas y los gobernantes que desean proteger su reputación.

De este modo, en *Emergencia Radiactiva* observamos las tensiones que se generan entre la ciencia y los diferentes grupos de interés que la rodean, revelando que desafortunadamente, la ciencia se percibe como un agente que no es confiable cuando no nos proporciona respuestas fáciles o soluciones cómodas.

La narración de los sucesos se presenta principalmente a través de la visión de los físicos nucleares que intentan contener el problema de contaminación radiológica y también a través de la experiencia de los médicos que trataban de preservar la vida de los afectados.

La serie logra explicar de forma clara y simple el origen de la radiación y sus efectos. Sin embargo, algo que no se menciona es que el accidente comenzó siendo un problema físico, pero conforme el cesio radiactivo salió de su cápsula protectora, se transformó progresivamente en un problema químico.

¿Qué hacía que un pequeño polvo blanco pudiera contaminar una ciudad entera? La respuesta no se encuentra únicamente en la física nuclear, sino también en las propiedades químicas del compuesto que contenía el radionúclido.

2. ¿Cómo está hecha una fuente de radiación?

Para comprender cómo inició el accidente radiológico vale la pena estudiar cómo está construida una fuente radiológica. La estructura fundamental tiene tres componentes: el núcleo, la cápsula de contención y el blindaje.

El núcleo es el corazón de la fuente por ser el material radiactivo, en este caso cesio-137. La cápsula de contención es un contenedor metálico, hecho típicamente con acero inoxidable, que almacena el radionúclido y que mantiene la integridad de la fuente. Esta se encuentra cubierta por el blindaje que es un contenedor fabricado con materiales de alta densidad como el plomo y que evita fugas de radiación cuando la fuente no está en uso.

Lo que encontraron los jóvenes recolectores era en realidad la fuente que no representaba un peligro hasta el momento que fue abierta. Al romper el blindaje la radiación pudo escapar sin control. La capacidad de penetración de la radiación emitida es tan alta que puede atravesar incluso los muros de un hogar. Sólo puede frenarse al pasar por un material muy denso como el plomo siempre y cuando tenga un espesor suficientemente alto. Además, al abrir la cápsula de contención el material radiactivo quedó expuesto pudiendo dispersarse sin control.

3. ¿Qué era realmente el cesio-137?

El cesio es un elemento químico con número atómico 55 y una masa atómica promedio de 132.91 uma. Pertenece a la familia de los metales alcalinos y se encuentra en el sexto periodo. En la naturaleza sólo existe un isótopo, el cesio-133, el cual es estable. Sin embargo, existen varios isótopos artificiales e inestables siendo el cesio-137 el más destacado por su aplicación en radioterapia contra ciertos tipos de cáncer.

El cesio-137 se obtiene como subproducto de procesos de fisión nuclear. Tiene una semivida de 30.15 años y es un emisor de partículas beta y gamma, ambas son formas de radiación ionizante por lo cual se consideran altamente peligrosas.

Las fuentes usadas en radioterapia no contienen en su interior cesio metálico, ya que este elemento es altamente reactivo. En su lugar se emplean sales de este elemento siendo el cloruro de cesio-137 la más común, que es el polvo que se encontraba dentro del cabezal vendido en la chatarrería. Este compuesto es un sólido cristalino, inodoro e incoloro que a simple vista puede confundirse con la sal común.

Al igual que otras sales de los metales alcalinos, el cloruro de cesio es altamente soluble en agua (> 1000 g/L). Desde un punto de vista químico, la elevada solubilidad del cloruro de cesio explica por qué pequeñas cantidades podían redistribuirse mediante el sudor, el agua utilizada para lavar ropa o utensilios, e incluso infiltrarse en materiales porosos.

Cuando una persona toca, inhala o ingiere cloruro de cesio este compuesto entra a la sangre y es transportado a todo el cuerpo. El cesio es muy semejante al potasio por lo cual puede atravesar con facilidad la membrana celular y participar en los mecanismos de equilibrio de cargas entre el interior y exterior de las células. De esta forma, el cesio-137 permanece irradiando continuamente a las personas desde el interior y es otra razón por la cual es tan peligroso.

El cesio en la sangre es filtrado por los riñones y se elimina principalmente a través de la orina, aunque también se puede excretar mediante el sudor y las heces. Estos mecanismos de excreción son retratados en la serie donde vemos que a los pacientes contaminados se les pedía hacer ejercicio cardiovascular para favorecer la sudoración y así comenzar a desintoxicarlos.

Otra estrategia que se muestra es la administración de cápsulas de azul de Prusia, el cual es un medicamento que favorece la excreción a través de las heces. Este compuesto actúa como una esponja o trampa molecular que captura el cesio radiactivo y evita que sea reabsorbido en el intestino y deje de entrar al torrente sanguíneo.

4. El brillo azul que despertó la curiosidad

Una propiedad que llamó la atención de las personas que tuvieron contacto directo con el cloruro de cesio-137, fue un intenso brillo azul que se desprendía de él. No se trataba de simple luminiscencia, sino del efecto Cherenkov.

Cuando una partícula cargada viaja a alta velocidad en un medio como el aire o el agua, puede hacer que las moléculas del medio se exciten y una vez que se relajan emiten fotones. Pero, si la partícula cargada viaja a una velocidad superior a la velocidad de la luz en el medio, las emisiones de fotones interactúan coherentemente dando lugar a un cono de luz. Por analogía, el efecto Cherenkov es equivalente a una onda de choque que se produce cuando un objeto supera la velocidad de propagación del sonido en un medio.

Los habitantes de Goiania observaron el efecto Cherenkov sin saber que se trataba de la manifestación de una emisión extrema de radiación ionizante. Por el contrario, lo percibieron como un efecto decorativo que los incentivó a llevarlo a casa de amigos y familiares para mostrarlo y compartirlo. Este fue uno de los factores que agravó la dispersión del material radiactivo y que aumentó el impacto de la contaminación.

5. Cuando la contaminación se comporta como una sustancia química

Ya hemos mencionado que el cesio-137 es altamente soluble en agua. Esto permite que pueda ser fácilmente arrastrado por el agua contaminando drenajes, pozos, arroyos y otros cuerpos de agua. Esta es la causa de otro de los grandes problemas mostrados en la serie.

Además, es la razón por la cual los desechos biológicos de los pacientes contaminados, como la orina y las heces, no podían ingresar al drenaje de la ciudad y debían tratarse como desechos radiactivos.

Otro factor clave es que el cloruro de cesio usado en las máquinas de radioterapia se encuentra como un polvo fino que puede dispersarse fácilmente a través del aire y mediante el contacto directo entre personas y objetos contaminados, aumentando el radio de la contaminación.

Estos problemas asociados a la movilidad del cesio-137 pueden analizarse como problemas de química ambiental o química de superficies y no solamente como una cuestión de física nuclear.

Quizá este aspecto no está representado de forma explícita en la serie, pero los problemas de contaminación ambiental son una fuente de conflicto recurrente a lo largo de la historia.

6. ¿Qué hacen los químicos durante una emergencia radiológica?

En un caso como el que estamos analizando, una de las tareas más importantes que puede realizar un químico es el análisis cuantitativo, pues determina de forma precisa la concentración de material radiactivo presente en un medio.

En la serie podemos observar dos aplicaciones específicas de esta tarea. Primero, el análisis de orina que ayudó a saber en qué grado se encontraba contaminado el organismo de las víctimas, lo cual fue un factor clave para ajustar los tratamientos médicos. En la segunda, el análisis cuantitativo ayudó a conocer si había contaminación radiactiva en los cuerpos de agua de la ciudad.

Los químicos son profesionales muy necesarios en medio de una emergencia radiológica, también pueden colaborar en la identificación

de radionúclidos, en el monitoreo ambiental, en el tratamiento de superficies, en la caracterización y gestión de residuos y en el diseño de estrategias de descontaminación.

7. La química de la descontaminación

En *Emergencia Radiactiva* la tarea de descontaminar los espacios se representa principalmente a través de la recolección de objetos contaminados que se colocan en bolsas y barriles sellados. Sin embargo, este proceso es más complejo ya que no basta con remover los contaminantes. También hay que aislar los materiales, inmovilizar y gestionar los residuos.

Quizá este último aspecto es uno de los temas que provoca más tensión dentro de la historia, pues genera múltiples discusiones sobre cómo transportar y dónde hacer la disposición final de los desechos.

Además, otra escena que llama especialmente la atención es una ducha con ácido acético diluido que se administra a las personas altamente contaminadas una vez que inicia el proceso de confinamiento.

8. Reflexión final

Para nosotros es importante comprender que, aunque la serie presenta la tragedia como un accidente radiológico, la propagación, detección y remediación del cesio-137 fueron también problemas profundamente químicos.

El accidente de Goiania marcó un antes y un después en la forma en que se gestionan las fuentes radiactivas en numerosos países. Más allá de sus consecuencias inmediatas, también impulsó el desarrollo de protocolos analíticos, estrategias de descontaminación y regulaciones que hoy forman parte de la práctica cotidiana de la radioquímica y la protección radiológica.

El efecto túnel: un fenómeno extraño pero real con tecnología premiada por el Nobel

Marco Polo Jiménez Segura¹, Jesús Hernández Trujillo^{1}*

¹Facultad de Química, UNAM.

*Área de estudio: Química computacional *Contacto: jesusht@unam.mx

Resumen

En esta breve semblanza se presenta una accesible explicación sobre el efecto túnel y los premios Nobel que, por su importancia, han sido otorgados en este tema. Aunque se trata de un fenómeno que se explica desde la física con los métodos de la mecánica cuántica, este tiene grandes implicaciones en química, biología y ciencia de materiales, por lo que representa una oportunidad para ilustrar la gran conexión que hay entre la física y otras disciplinas, en particular con la química.

Palabras clave: Premio Nobel de Física 2025, efecto túnel, junta Josephson, microscopio de efecto túnel, efecto túnel en la química.

Abstract

This brief overview presents an accessible explanation about the tunnel effect and the Nobel Prizes that, due to their significance, have been awarded in this same field. Although it is a phenomenon explained by physics using the methods of quantum mechanics, it has major implications in chemistry, biology, and materials science, thus representing an excellent opportunity to illustrate the strong connection between physics and other disciplines, particularly chemistry.

Keywords: 2025 Nobel Prize in Physics, tunnel effect, Josephson junction, scanning tunneling microscope, tunnel effect in chemistry.

1. Introducción

Uno de los retos de la enseñanza de la mecánica cuántica en las etapas tempranas de la educación universitaria radica en la dificultad de establecer conexiones entre los conceptos teóricos que sirven para entender fenómenos que ocurren a escala microscópica (del tamaño de átomos, moléculas y partículas subatómicas) y las observaciones del día a

día de la experiencia cotidiana. A su vez, el abordaje histórico de los conceptos cuánticos y sus protagonistas ha sido una herramienta didáctica valiosa para acercar a los estudiantes a la complejidad de esas entidades tan pequeñas. (Garritz 2014). El efecto túnel es uno de esos casos, y es tan importante que investigaciones en este campo han valido tres premios Nobel a lo largo del tiempo. El

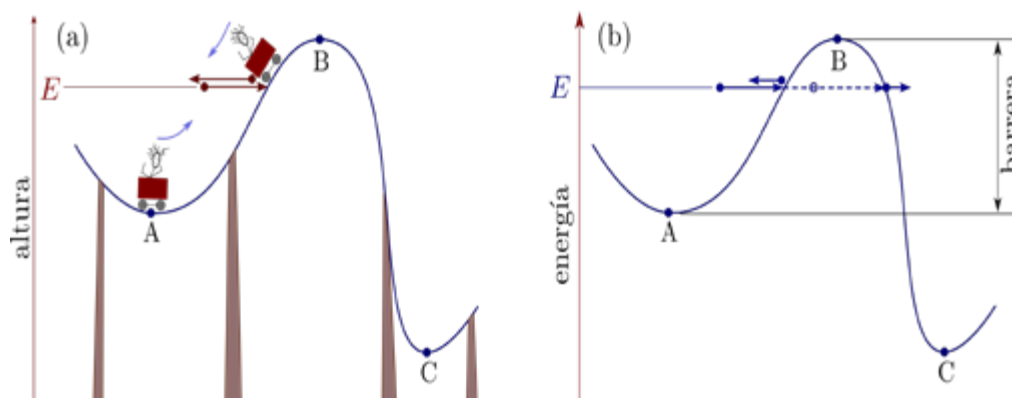


Fig. 1 (a) Movimiento de los vagones en la montaña rusa. La energía potencial de los vagones es directamente proporcional a la altura de la montaña rusa. Las flechas rojas señalan que el vagón no llega al punto B y regresa a A cuando su energía, es insuficiente para pasar la barrera. **(b)** En el caso cuántico, cuando una partícula no tiene la energía necesaria para remontar la barrera, puede regresar al punto A y también hay una probabilidad diferente de cero de que pase al punto C (flechas azules).

presente artículo de divulgación busca servir como material de lectura introductoria para estudiantes de carreras relacionadas con la química con el fin de motivar la curiosidad científica para profundizar en la comprensión de este tema y de sus posibles aplicaciones.

2. ¿Qué es el efecto túnel?

El efecto túnel es un fenómeno de naturaleza microscópica que se explica mediante la mecánica cuántica. Cuando se habla de efecto túnel, se dice que es posible que un objeto atravesase una barrera de energía potencial a pesar de que no cuente con la energía suficiente para ello (Atkins et al. 2006; Lincoln 2021). Esta afirmación contradice lo que nuestra experiencia cotidiana dicta, pero debe tomarse en cuenta que a escala microscópica los fenómenos no transcurren de manera similar a como lo hacen a escala macroscópica (Hipps and Scudiero 2005). Para ilustrar lo anterior, considera el siguiente ejemplo. Supón que un grupo de amigos se encuentra en un parque de diversiones y se sube a una montaña rusa (**Fig. 1 (a)**). En este ejemplo macroscópico, la barrera energética se debe a la fuerza de gravedad, por lo que la energía potencial de los vagones depende de la altura a la que ellos se encuentren y su movimiento se estudia con la segunda ley de

Newton. Para que el vagón pueda llegar de la posición más baja A al máximo en B y de allí pasar por el mínimo en C, éste debe tener la energía suficiente para realizar ese recorrido. De otro modo, si el valor de la energía, en la **Fig. 1 (a)**, es menor que en el punto B, éste no podría superar la barrera y regresaría al punto A. En contraste, a nivel microscópico (**Fig. 1 (b)**), el movimiento de las partículas se rige por la ecuación de Schrödinger a través de la llamada función de onda (Atkins et al. 2006). Debido a la dualidad onda-partícula (pues la luz y la materia exhiben un comportamiento común a escala microscópica), existe una probabilidad diferente de cero de que una partícula pase de un lado a otro de una barrera energética, aunque su energía sea inferior a ésta (Bell 1980; Schreiner 2020). Este comportamiento es similar al de una onda que puede reflejarse, pero también transmitirse al pasar de un medio material a otro. Comparando con la montaña rusa, sería como si los vagones pasaran del punto A al C aunque no tuvieran suficiente energía para hacerlo.

El efecto túnel es muy importante en química, física, biología y ciencia de materiales. Esto se sabe debido a la gran cantidad de evidencia experimental que confirma su participación en una diversidad de procesos. Por ejemplo, en la desintegración radiactiva de un núcleo atómico, se forma una partícula alfa (la cual

consiste en dos protones y dos neutrones) que se libera por efecto túnel a través de una barrera energética (Tipler and Mosca 2005; Alonso and Finn 1992). En biología, muchas reacciones de transferencia electrónica entre proteínas mediadas por cofactores (por ejemplo, citocromos y flavinas) involucran al efecto túnel (Atkins et al. 2006; Meisner and Kästner 2016).

3. El efecto Josephson y los premios Nobel de 1973

Se ha otorgado en tres ocasiones el premio Nobel en Física a científicos por sus contribuciones en el estudio del efecto túnel. En 1973, se dio este reconocimiento a Leo Esaki, Ivar Giaever, y Brian D. Josephson ("Nobel Prize in Physics 1973,"). A los dos primeros por sus descubrimientos sobre el efecto túnel en semiconductores y superconductores, respectivamente. Mientras que a Brian D. Josephson se le otorgó por sus predicciones teóricas sobre una supercorriente que atraviesa una barrera.

En la teoría conocida como BCS (por John Bardeen, Leon Cooper y John Robert Schrieffer), en un superconductor convencional los electrones superan la repulsión coulombica (ésta debida a que ambos tienen la misma carga). Esto ocurre de la siguiente manera: conforme un primer electrón avanza por el material, su carga negativa atrae hacia sí ligeramente a los iones positivos de la red cristalina. Esto genera una deformación en la red. Esta deformación crea una zona local con mayor concentración de carga positiva. La zona de carga positiva termina atrayendo a un segundo electrón que se encuentre cerca. A este mecanismo, mediado por las vibraciones de la red (fonones), se le conoce como acoplamiento electrón-fonón.

Esto permite que los electrones formen pares y fluyan sin resistencia eléctrica. A estos se les llama pares de Cooper. La realidad es que a estos pares se les suman muchos otros más y forman un estado cuántico colectivo que da lugar a la superconductividad (Tinkham 2004).

Cuando dos materiales superconductores se sitúan separados por un aislante delgado, típicamente entre 1 y 3 nanómetros (Zeng et al. 2015), los pares de Cooper pueden atravesar el aislante mediante el efecto túnel. Con esto, nos referimos a que los pares pasan la barrera causada por el aislante, aunque ellos no tengan energía suficiente para hacerlo según la física clásica. Ese paso de corriente superconductora sin voltaje se conoce como el efecto Josephson. Existen tres tipos principales de juntas Josephson que son mostradas en la **Fig. 2**.

Como mencionamos, los pares de Cooper pueden atravesar una barrera aislante entre dos materiales superconductores. La corriente que fluye a través de la unión depende de la diferencia de fase entre los dos superconductores. Hasta principios de los años ochenta, esa fase se trataba como una variable clásica: se creía que las juntas Josephson se comportaban como dispositivos eléctricos regidos por ecuaciones que no manifestaban un carácter cuántico.

Ahora, tratemos de entender a qué se debe el efecto Josephson y la importancia de la fase. Imaginemos que cada electrón dentro de los materiales trae consigo un reloj de manecillas imaginario. A medida que avanza cada uno de los electrones, las manecillas del reloj avanzan también. El ángulo de la dirección en la que

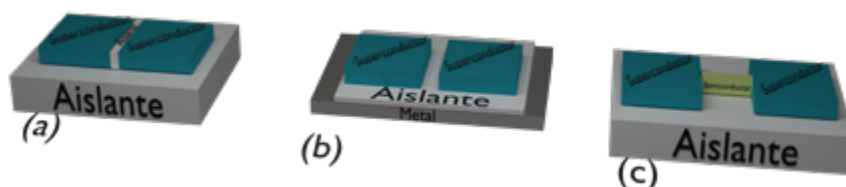


Fig. 2 Juntas Josephson (a) S-I-S Superconductor- Aislante-Superconductor (b) S-N-S Superconductor-Metal normal-Superconductor, y (c) S-Sm-S Superconductor-Semiconductor-Superconductor.

apunta cada manecilla en un momento y lugar específico es conocido como la “fase”. En un material en el estado normal (se le llama normal cuando no hay superconductividad), las manecillas de cada electrón giran de forma independiente en diferentes direcciones. Cuando los electrones se acoplan y forman los pares de Cooper, las fases de todos los electrones involucrados giran en la misma dirección. A esta sincronización de las fases se le conoce como la “fase superconductora”. Cuando colocamos dos superconductores separados por una pequeña barrera aislante, formamos la junta Josephson. Cada superconductor tiene de su lado su propia fase, en la que las manecillas apuntan en su propia dirección, por lo que existe una diferencia de fase. Resulta que la fase de un superconductor percibe que está desfasado de la fase del otro superconductor y esto provoca que los electrones brinquen de un lado al otro para tratar de sincronizar la fase, provocando una corriente túnel, llamada corriente Josephson, a través del material aislante. Esta analogía de la fase está basada en las explicaciones de Feynman que se abordan con más detalle en Feynman 2006; Vinokur et al. 2008.

Hay dos consecuencias notables del efecto Josephson. La primera se refiere a la corriente sin voltaje o efecto Josephson DC. Si no hay diferencia de potencial entre los dos superconductores, puede circular una corriente constante llamada corriente superconductora sin diferencia de voltaje. La segunda se conoce como oscilaciones con voltaje o efecto Josephson AC. Esto es, si se aplica un voltaje, la corriente que pasa a través de la unión oscila con una frecuencia proporcional al voltaje.

4. Cuantización macroscópica y la tecnología del Nobel

Como mencionamos en la sección 3, La corriente que pasa de un superconductor a otro se ve motivada por una diferencia de fase de los superconductores. Hasta principios de los años ochenta, esa fase se trataba como una variable clásica: se creía que las juntas

Josephson se comportaban como dispositivos eléctricos regidos por ecuaciones que no manifestaban un carácter cuántico.

En 1985 J. Clarke, M. H. Devoret y J. M. Martinis observaron por medio de una serie de experimentos que la diferencia de fase macroscópica no es simplemente un parámetro clásico, sino una variable cuantizada (Martinis et al. 1985; Devoret et al. 1985; Clarke and Schön 1986). La fase es una propiedad física medible, ya que se relaciona con la corriente superconductora. Clarke, Devoret y Martinis construyeron circuitos Josephson con muy bajo ruido, capaces de operar a temperaturas de pocos milikelvin. En estos sistemas, la fase puede comportarse como una “partícula” atrapada en un potencial análogo a un electrón confinado en un átomo artificial (Martinis et al. 2020). Este descubrimiento prueba que una variable eléctrica colectiva de un circuito puede exhibir un comportamiento puramente cuántico.

En los experimentos de Clarke, Devoret y Martinis, los investigadores observaron dos fenómenos fundamentales: túnel cuántico macroscópico y cuantización de niveles de energía. Esto se confirmó tras irradiar con microondas y observar resonancias entre esos niveles. Estos resultados demostraron que un circuito eléctrico macroscópico puede comportarse como un átomo cuántico.

La sensibilidad cuántica que ofrecen los circuitos basados en juntas Josephson permite desarrollar los SQUID (superconducting quantum interference device), estos sirven como bases para magnetómetros muy sensibles que incluso son capaces de detectar la actividad magnética del cerebro o del corazón, y, en química, para estudiar los momentos magnéticos de materiales.

En 2025 se premió el trabajo de John Clarke, Michel Henri Devoret y John Matthew Martinis. Además de su importancia por la demostración de la cuantización a nivel macroscópico, la contribución de estos científicos tiene grandes

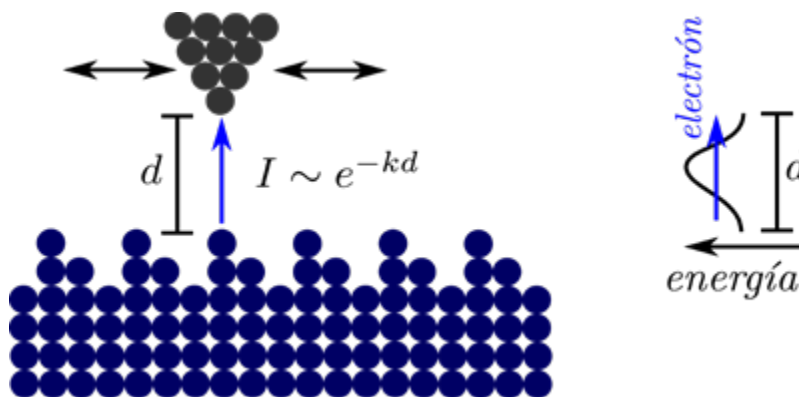


Fig. 3 Esquema de microscopía de efecto túnel (STM).

aplicaciones potenciales. Citando textualmente a la página del Premio Nobel: El Premio Nobel de Física del 2025 *"ha brindado oportunidades para el desarrollo de la próxima generación de tecnología cuántica, incluyendo la criptografía cuántica, las computadoras cuánticas y los sensores cuánticos"* ("Nobel Prize in Physics 2025," n.d.).

5. Aplicaciones en química y materiales

La evidencia experimental muestra que el paso de reactivos a productos en una reacción química a través de un estado de transición en ocasiones se ve afectado por el efecto túnel (Bell 1980; Meisner and Kästner 2016; Schreiner 2020). Al usar la **Fig. 1 (b)** para representar a la curva de energía potencial como función de la coordenada de reacción, A y C corresponden a los reactivos y productos, respectivamente, y B el estado de transición. Como el efecto túnel es muy sensible al valor de la masa de las partículas involucradas en penetrar una barrera (entre mayor sea la masa, menor es el efecto túnel), la rapidez de una reacción de ruptura o formación de enlace químico puede cambiar por la sustitución de un isótopo por otro. Esto se conoce como efecto isotópico, el cual queda manifiesto cuando se sustituye un átomo de hidrógeno por deuterio y disminuye la velocidad de reacción (Sprague 1977). Los ejemplos van desde reacciones de abstracción de hidrógeno por radicales metilo en cristales de acetonitrilo, hasta la de transferencia de hidrógeno en procesos de catálisis enzimática en sistemas biológicos (Klinman and Offenbacher 2018). Asimismo, el

efecto túnel provoca desviaciones de la ley de Arrhenius a bajas temperaturas, régimen en el que el efecto isotópico de átomos más allá del hidrógeno también puede ser detectado. Otros ejemplos de transformaciones químicas que involucran átomos pesados, como carbono o nitrógeno, son la automerización de ciclobutadieno y la inversión de amoníaco, respectivamente (Meisner and Kästner 2016; Halpern et al. 2007). Asimismo, recientemente se ha sugerido que el efecto túnel puede utilizarse para dirigir los productos de una reacción química, como alternativa al control cinético o al termodinámico (Schleif and Nandi 2025).

En el contexto de ciencia de materiales, el efecto túnel se utiliza para caracterizar materiales conductores e incluso para manipular átomos a escala nanométrica (Eigler and Schweizer 1990). En 1986 ("Nobel Prize in Physics 1986," n.d.), se otorgó el premio Nobel a Gerd Binnig y Heinrich Rohrer por el diseño del microscopio de efecto túnel. Esta técnica constituye una aplicación experimental del efecto túnel (Hippes and Scudiero 2005). Al aplicar una diferencia de potencial entre una punta conductora afilada que se mueve sobre la superficie de un material conductor, se genera una corriente eléctrica entre ambas (Chen 2008). El paso de los electrones entre la punta y la muestra ocurre a través de una barrera energética con una probabilidad que decae exponencialmente con la distancia entre ellas, por lo que la corriente generada es sensible a la forma de la superficie (**Fig. 3**). Por esta razón, la microscopía de efecto

túnel sirve para obtener la topografía de la superficie. Las aplicaciones de esta técnica son numerosas. Por ejemplo, en el estudio y diseño de convertidores catalíticos de automóviles y para mover moléculas en una superficie.

En un contexto más amplio, recientemente otros científicos han recibido premios Nobel por contribuciones asociadas a la mecánica cuántica, tales como el de física de 2022, relacionado con el entrecruzamiento cuántico y la teoría de la información, y el de química en 2023 por el descubrimiento y síntesis de puntos cuánticos, los cuales son relevantes en el desarrollo de materiales ópticos como los LEDs.

Un ejemplo de aplicación del efecto túnel en la vida cotidiana es la memoria flash utilizada en teléfonos y computadoras. En estos dispositivos, al aplicar un campo eléctrico, los electrones en un transistor pueden pasar entre componentes, mediante el efecto túnel a través de una delgada capa aislante (principalmente de SiO₂) para almacenar información. (Liu 2022).

6. Conclusiones

Los ejemplos anteriores son casos en que se manifiesta el efecto túnel, tanto a nivel microscópico como macroscópico. Se trata de un fenómeno que se explica con la mecánica cuántica, cuyas repercusiones científicas y tecnológicas han valido tres premios Nobel a lo largo de los años. Estas investigaciones y otras en el área de la mecánica cuántica han tenido gran relevancia en el desarrollo tecnológico y, por lo tanto, en nuestra vida cotidiana, aunque tal vez no seamos conscientes de ello. Este impacto quedó de manifiesto cuando la Organización de las Naciones Unidas conmemoró el 2025 como el Año Internacional de la Ciencia y la Tecnología Cuánticas.

Agradecimientos

Agradecemos a Felipe Cruz García, Kira Padilla Martínez y Héctor García Ortega sus comentarios y sugerencias durante la elaboración de esta semblanza.

Referencias

1. Alonso, M.; Finn, E. J. *Física*. Addison-Wesley Iberoamericana, 1992.
2. Atkins, P.; de Paula, J.; Keeler, J. *Atkins' Physical Chemistry*. 8th ed. Oxford University Press: 2006.
3. Bell, R. P. *The Tunnel Effect in Chemistry*. Chapman; Hall, 1980.
4. Chen, C. J. *Introduction to Scanning Tunneling Microscopy*. Second. Oxford University Press, 2008.
5. Clarke, J.; Schön, G. Macroscopic Quantum Phenomena in Josephson Elements, *Europhys. News* **1986**, 17, 94–96. <https://doi.org/10.1051/epn/19861707094>.
6. Devoret, M. H.; Martinis, J. M.; Clarke, J. Measurements of Macroscopic Quantum Tunneling Out of the Zero-Voltage State of a Current-Biased Josephson Junction, *Phys. Rev. Lett.* **1985**, 55, 1908–1911. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.55.1908>.
7. Eigler, D. M.; Schweizer, E. K. Positioning Single Atoms with a Scanning Tunneling Microscope, *Nature*, **1990**, 344, 524–526. <https://doi.org/10.1038/344524a0>.
8. Feynman, R. P. *The Strange Theory of Light and Matter*. Princeton University Press, 2006.
9. Garritz, A. Historia de La Química Cuántica, *Educación Química* **2014**, 25, 170–175. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(14\)70555-5](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(14)70555-5).
10. Halpern, A. M.; Ramachandran, B. R.; Glendening, E. D. The Inversion Potential of Ammonia: An Intrinsic Reaction Coordinate Calculation for Student Investigation, *J. Chem. Educ.* **2007**, 84, 1067. <https://doi.org/10.1021/ed084p1067>.
11. Hipps, K. W.; Scudiero, L. Electron Tunneling, a Quantum Probe for the Quantum World of Nanotechnology, *J. Chem. Educ.* **2005**, 82, 704–711. <https://doi.org/10.1021/ed082p704>.
12. Klinman, J. P.; Offenbacher, A. R. Understanding Biological Hydrogen Transfer Through the Lens of Temperature Dependent Kinetic Isotope Effects, *Acc. Chem. Res.* **2018**, 51, 1966–1974. <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00226>.
13. Lincoln, J. Quantum Tunneling Experiments with Tunnel Diodes. Short survey. *Physics Teacher* **2021**, 59, 76–77. <https://doi.org/10.1119/10.0003028>.
14. Liu, Z. T. Flash Memory and NAND. In *Advanced Driver Assistance Systems and Autonomous Vehicles: From Fundamentals to Applications*, Li, Y.; Shi, H. Ed.; Springer Nature Singapore, 2022. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5053-7_5.

15. Martinis, John M., Michel H. Devoret, and John Clarke. Energy-Level Quantization in the Zero-Voltage State of a Current-Biased Josephson Junction. *Phys. Rev. Lett.* **1985**, 55, 1543–1546. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.55.1543>.
16. Martinis, J. M.; Devoret, M. H.; Clarke, J. Quantum Josephson Junction Circuits and the Dawn of Artificial Atoms. *Nat. Phys.* **2020**, 16, 234–237. <https://doi.org/10.1038/s41567-020-0829-5>.
17. Meisner, J.; Kästner, J. Atom Tunneling in Chemistry, *Angew. Chem. Int. Edn.*, 2016, 55, 5400–5413. <https://doi.org/10.1002/anie.201511028>.
18. Nobel Prize in Physics 1973. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1973/summary/> (accessed October 18, 2025).
19. Nobel Prize in Physics 1986. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1986/summary/> (accessed October 18, 2025).
20. Nobel Prize in Physics 2025. NobelPrize.org. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2025/press-release/> (accessed October 18, 2025).
21. Schleif, T.; and Nandi, A. Role of Quantum Tunneling in Synthetic Organic Chemistry, *Eur. J. Org. Chem.* 2025, 28, e202500656. <https://doi.org/10.1002/ejoc.202500656>.
22. Schreiner, P. R. “Quantum Mechanical Tunneling Is Essential to Understanding Chemical Reactivity, *Trends Chem*, **2020**, 2, 980–989. <https://doi.org/10.1016/j.trechm.2020.08.006>.
23. Sprague, E. D. Deuterium Isotope Effect on Hydrogen Atom Abstraction by Methyl Radicals in Acetonitrile at 77 K. Evidence for Tunneling. *J. Phys. Chem.* **1977**, 81, 516–520. <https://doi.org/10.1021/j100521a005>.
24. Tinkham, M. *Introduction to Superconductivity*; 2nd. Ed. Dover Publications, 2004.
25. Tipler, P. A., and G. Mosca. *Física Para La Ciencia y La Tecnología*. 5th. Ed., Vol. 2. Reverté, 2005.
26. Vinokur, V. M.; Baturina, T. I.; Fistul, M. V.; Mironov, A. Y.; Baklanov, M. R.; Strunk, Ch. Superinsulator and Quantum Synchronization, *Nature* **2008**, 452, 613–615. <https://doi.org/10.1038/nature06837>.
27. Zeng, L. J.; Nik, S.; Greibe, T.; et al. Direct Observation of the Thickness Distribution of Ultra Thin AlO_x Barriers in Al/AlO_x/Al Josephson Junctions. *J. Phys. D: Appl. Phys.* **2015**, 48, 395308. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/48/39/395308>.

