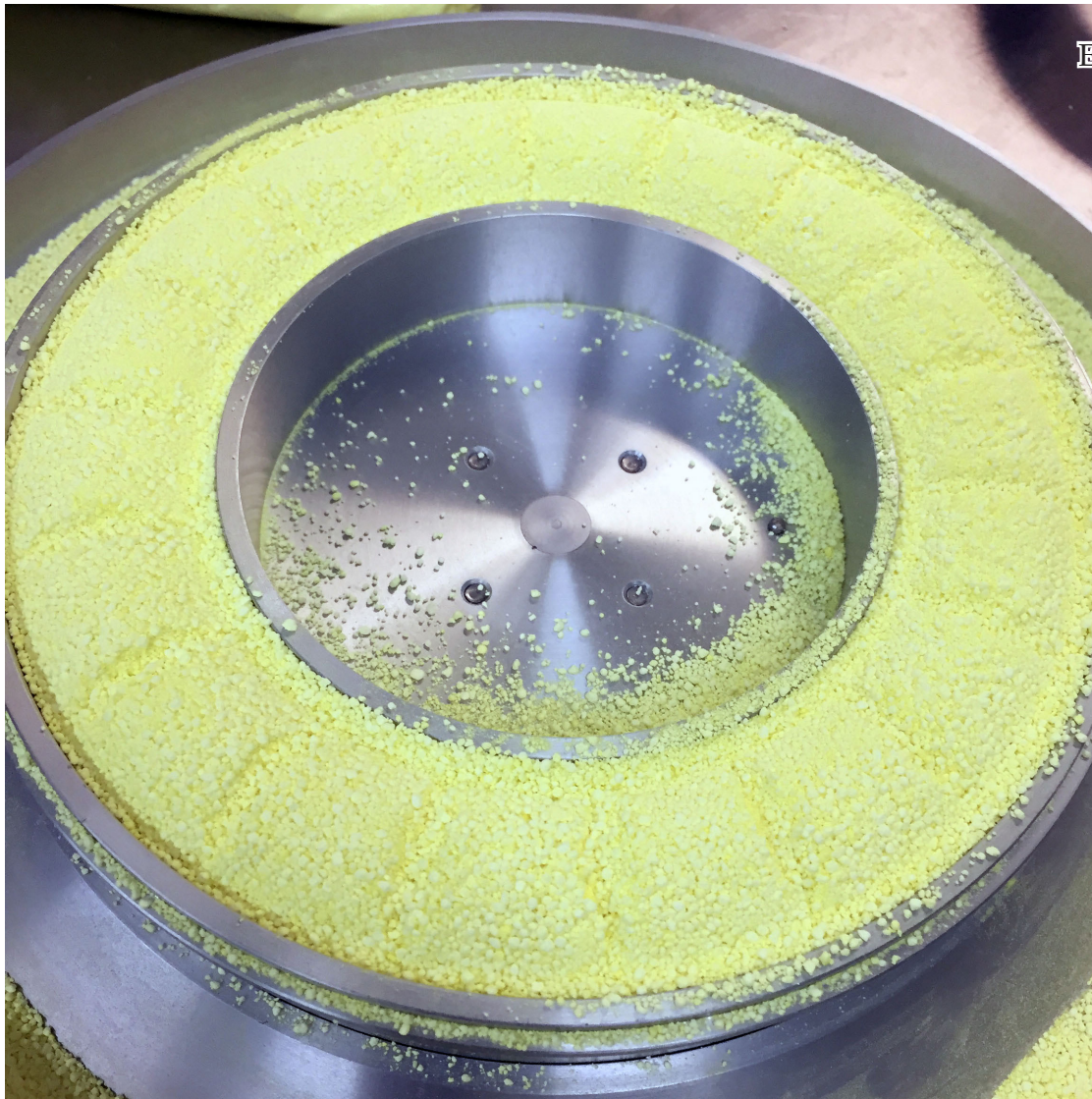




Boletín de la Sociedad Química de México

Volumen 20
Número 1
Año 2026
Enero - Abril



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

EDITORES

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

COMITÉ EDITORIAL

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



MAQUETACIÓN

Estefanie Luz Ramírez Cruz
es.ramirezacruz@gmail.com

CONTACTO BSQM

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

EN PORTADA:

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS

El Boletín de la Sociedad Química de México, año 20, número 1, enero-abril de 2026, es una publicación cuatrimestral, enero-abril 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. <http://bsqm.org.mx/>, boletin.sqm@gmail.com. Editora responsable Mariana Ortiz / Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2017-063013203100-203, ISSN-e: 2594-1038, ambos otorgados por Instituto Nacional de Derechos de Autor. Responsable de la última actualización de este número Estefanie Ramírez, Fecha de última modificación: 30 de abril de 2026.

CONTENIDO



QUÍMICA Hoy

Carta Editorial <i>Mariana Ortiz Reynoso</i>	4
Membresía 2026 de la Sociedad Química de México	5
Ganadores del Premio a las Mejores Tesis de Licenciatura, Maestría y Doctorado en Ciencias Químicas "Rafael Illescas Frisbie" edición 2025	9
Ganadores del Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" edición 2025	9
Premio a la Mejor Tesis de Maestría en Ciencias Químicas "Rafael Illescas Frisbie", edición 2025 M. en C. América Anahí Frías López	10
Premio a la Mejor Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas "Rafael Illescas Frisbie", edición 2025 Q. Luis Fernando Porras Santos	11
Fortaleciendo el talento humano en Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación: las becas Secihti como puente hacia el posgrado <i>Gabriela Navarro-Tovar</i>	12

QUÍMICA, DESARROLLO Y SOCIEDAD

Granular para curar: impacto de las partículas en la calidad de los medicamentos <i>Mariana Ortiz Reynoso</i>	18
De Lieja a Saltillo: la calcinadora de zinc y el desarrollo de una industria (1912–1948) <i>Martín Caldera-Villalobos</i>	24

QUÍMICA PARA LOS ESTUDIANTES

Etilenglicol: una mirada al anticongelante para automóviles <i>Jesús Alonso Cruz Valdez, Valvanuz Cahuantzi, Rosalba Patiño-Herrera, Elías Pérez, Daniel Montalvo</i>	28
--	----

Estimado público lector del Boletín de la Sociedad Química de México

Desde el 2020 he tenido el honor de tener la responsabilidad como editora en jefe de este medio de divulgación social la química. Agradezco la intervención del Dr. Gabriel Cuevas Gonzalez-Bravo en ello, y la participación con los excelentísimos colegas editores Jorge Ibáñez Cornejo y Alberto Rojas Hernández en un principio, quienes me tendieron la mano al asumir el cargo de la revista. Doy gracias también a Mariana Esquivelzeta Rabell y a Martín Caldera Villalobos, con quienes más recientemente he entablado esta empresa editorial. Además de la divulgación científica, en este medio de comunicación también se difunden las actividades que realizan las y los asociados de la Sociedad Química de México. Reconozco la relevancia de la llegada por la vía óculo-cerebral a la vida de lectoras y lectores las tareas de esta importante agrupación de profesionales de la química asociados en México, un territorio en el que desde que la nación estaba en ciernes ya se hacía ciencia de importancia mundial. Para muestra, un botón: en la Ciudad de México se descubrió el elemento químico vanadio gracias a la austera pero suficiente infraestructura material y al establecimiento de una camada científica proveniente de Europa, misma que dio continuidad a líneas de investigación de importancia mundial en ese entonces, como el beneficio de los metales preciosos. (Otra historia es que no se le dio crédito al descubridor novohispano Andrés Manuel del Río por motivos atribuibles a la naturaleza oscura de los seres humanos, a la falta de certeza y prontitud en la comunicación científica en aquellos entonces, y un poco también a la mala suerte).

El caso, querida lectora, estimado lector, es que la química es parte de la identidad mexicana, aunque no nos lo creamos. Los ejemplos de éxito científico también lo son, aunque la fama mundial no nos salpique siempre. México está entre las primeras economías del mundo, y sin embargo el ingreso per cápita es menor que el de estas mismas naciones. México es un país de contrastes y contradicciones. Así fue su nacimiento y de la incongruencia se nutre nuestra inevitable realidad. Tenemos lo mejor, no de dos, sino de muchos mundos antiguos. Para sorpresa de nadie personas científicas formadas en instituciones educativas mexicanas triunfan cuando se les abren oportunidades en otros países, y a pesar de las carencias que podamos nombrar en los servicios de educación del país, el talento mexicano es indiscutible. Por ello pienso que debemos conocer la historia que moldea nuestra identidad científica.

La divulgación de la ciencia no es un asunto menor. La capacidad de comunicar lo que hace un gremio químico a un público que no necesariamente está especializado en la materia es precisamente la fricción que enciende cabezas de cerillo fosforosas. Los contenidos de divulgación científica son la idea que anima a jóvenes a pensar que la ciencia no les es ajena y quizá incluso les motive a participar de ella. En un contexto donde la ciencia abierta es una condición *sine qua non* para aspirar a la democratización del conocimiento y a la disminución de la abominable discriminación a quienes no saben, la divulgación abierta y gratuita es una compañera amigable que anda el camino junto a toda persona en quien ese conocimiento pueda tener impacto o interés, y que por lo tanto tiene derecho a la información sobre el mismo. La divulgación de la química a través de este Boletín intenta derribar la idea de que la ciencia es lejana y está fuera del ecosistema social de un individuo no científico, y minar el prejuicio de que la ciencia está hecha únicamente de los grandes descubrimientos.

A lo largo de estos años al frente del Boletín hemos procurado incorporar textos de historia de la química mexicana con la esperanza de ofrecer referentes que den confianza a futuras generaciones y que abonen a la identidad científica mexicana. Esto es importante porque en nuestras juventudes hay un profundo desconocimiento de los logros e incidencias mexicanas en “La Historia de la Ciencia” en su dimensión global. El contenido de la currícula académica carece preocupantemente de narraciones locales que aporten elementos identitarios clave para la formación de niños, niñas, adolescentes y jóvenes latinoamericanos. No se ha reflexionado suficientemente en que no basta con contabilizar y describir los grandísimos hallazgos que han traído las leyes indiscutibles de la química, como los escritos de Antoine Lavoisier (que hoy sabemos realizó junto con su esposa), sino de entender la ciencia como una actividad productiva que ocurre todos los días a consecuencia de la generación de preguntas relevantes para un entorno dado, local, regional, mundial o universal, ya sea terrenal, existencial o sobrenatural. Y que en la medida en que se busquen respuestas a preguntas (sean resueltas o no y aunque quizá no sean relevantes en contextos ajenos), se hace ciencia. Este Boletín intenta alejar la idea de que la ciencia es algo inalcanzable e ininteligible y por tanto ajeno, repugnante y casi perjudicial.

Les agradezco la bondad de su lectura y les conmino a valorar el trabajo que hace la Sociedad Química de México para preservar la dignidad de las profesiones químicas y el valor que agrega esta labor al desarrollo del país. Les invito a sumar esfuerzos para mantener a la sociedad mexicana informada sobre su tradición científica y sobre el quehacer de las químicas y químicos en nuestro país. El Comité Ejecutivo Nacional de esta honorable Sociedad no debe verse únicamente como el responsable de la organización de los congresos anuales (actividad obligada y valiosísima en sí misma, en tanto esos valiosos espacios son indispensables para la actividad científica), sino también como el ente colegiado generador de un espacio de servicios continuos de capacitación, encuentro y crecimiento profesional, y de divulgación del conocimiento al público no especializado, con énfasis en la juventud.

En este número me despido de mi función como editora en jefe del Boletín. Me voy contenta de haber colaborado con la Sociedad Química de México con esta tarea. Les comparto que no hemos alcanzado algunos retos: lograr la emisión de un doi (por sus siglas en inglés, *digital object identifier*) para cada artículo aquí publicado; aumentar la diversidad de autores y autoras de artículos, incluyendo estudiantes de nivel medio superior y superior; ampliar la red de colegas revisores de los textos y sistematizar su operación día con día; incluir artículos escritos en lenguas originarias; conseguir recursos dedicados a fondear el trabajo de edición del Boletín.

En este número encontrarán las actividades más importantes de la Sociedad Química de México, además de un artículo original de historia de la ciencia local que aborda el desarrollo de la industria metalúrgica del zinc en Saltillo de la pluma de Martín Caldera; un texto colaborativo escrito por cuatro autores de instituciones de Veracruz, Guanajuato y San Luis Potosí, que versa sobre las generalidades del etilenglicol como anticongelante automotriz (nunca en mejor hora, considerando la escasez mundial de productos químicos de los que se alimentan varias cadenas productivas); una contribución de mi autoría sobre la importancia del proceso de granulación de materiales farmacéuticos y un artículo de Gabriela Navarro Tovar que reflexiona sobre el efecto de las becas de origen federal en la realización de los posgrados en México.

Estoy cierta de que en adelante el Boletín seguirá en buenas manos y de que verá ampliado su público lector, y deseo que siga siendo la revista mexicana de divulgación de la química asequible y confiable digna de la Sociedad Química de México.

Abril de 2026,

Dra. en F. y T.F. Mariana Ortiz Reynoso



MEMBRESÍA



SOCIEDAD QUÍMICA
DE MÉXICO, A.C.
Sin límites para crecer

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



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

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



TU MEMBRESÍA TE ESPERA: RENUÉVALA O ADQUIÉRELA ANTES DE TERMINAR 2025 O DURANTE EL PRIMER TRIMESTRE DE 2026

VÁLIDA EN LAS CATEGORÍAS: PROFESIONAL, ESTUDIANTE DE POSGRADO O PROFESOR DE EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

OFERTA

2 MIEMBROS	RENOVACIÓN ○ AFILIACIÓN	30% DE DESCUENTO EN LA MEMBRESÍA PARA UN ESTUDIANTE DE LICENCIATURA
-------------------	-------------------------------	--

3 MIEMBROS	RENOVACIÓN ○ AFILIACIÓN	50% DE DESCUENTO EN LA MEMBRESÍA PARA UN ESTUDIANTE DE LICENCIATURA
-------------------	-------------------------------	--

4 MIEMBROS	RENOVACIÓN ○ AFILIACIÓN	70% DE DESCUENTO EN LA MEMBRESÍA PARA UN ESTUDIANTE DE LICENCIATURA
-------------------	-------------------------------	--

5 MIEMBROS	RENOVACIÓN ○ AFILIACIÓN	1 MEMBRESÍA DE CORTESÍA PARA UN ESTUDIANTE DE LICENCIATURA
-------------------	-------------------------------	---

Este beneficio es válido solo para un descuento por grupo, sin importar el número de integrantes.

¡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



**Premio a las Mejores Tesis de
Licenciatura, Maestría y Doctorado
en Ciencias Químicas
"Rafael Illescas Frisbie"
edición 2025**

El pasado 2 y 3 de septiembre se realizaron las reuniones de los Jurados dictaminadores, resultando ganadores:

Doctorado: Desierto.

Maestría: Síntesis de moléculas híbridas farmacofóricas mediante procesos one-pot.

Tesis presentada por la M. en C. Q. América Anahí Frías López en el Instituto de Investigaciones Químico Biológicas de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la dirección del D.Q. Carlos Jesús Cortés García y la participación del Dr. Luis Chacón García como co-asesor.

Licenciatura.- C-glicosilaciones de Ferrier mediadas por la sal de TEMPO+ y síntesis de la "(2R,3aR,7aR)-2-propil-2,3,3a,7a-tetrahidro-5H-furo[3,2-b]piran-5-ona" como precursor sintético avanzado de la lasionectrina.

Tesis presentada por el Q. Luis Fernando Porras Santos en la Facultad de Ciencias Químicas de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla bajo la dirección del Dr. Fernando Sartillo Piscil



El 2 y 3 de septiembre de 2025 se llevaron a cabo las reuniones de los Jurados del Premio Nacional de Química "Andrés Manuel del Río" para designar a los ganadores de las categorías de Investigación Científica: Investigador Consolidado y Joven Investigador y; Docencia.

Después de una cuidadosa deliberación se seleccionaron a los siguientes ganadores.

Investigación Científica.-

Investigador Consolidado.

Dr. Mariano Martínez Vázquez
Instituto de Química de la
Universidad Nacional Autónoma de México

Dr. Gabriel Eduardo Cuevas González Bravo
Instituto de Química de la
Universidad Nacional Autónoma de México

Joven Investigador.

Dr. Gerardo Leyva Gómez
Facultad de Química de la
Universidad Nacional Autónoma de México

Docencia.-

Dra. Catalina María Pérez Berumen
Departamento de Química de la
Universidad Autónoma de Coahuila

La Sociedad Química de México A.C., les felicita y desea que su trabajo siga rindiendo frutos para beneficio de las Ciencias Químicas en nuestro país.

Premio a la Mejor Tesis de Maestría en Ciencias Químicas "Rafael Illescas Frisbie", edición 2025 M.en C. América Anahí Frías López



América Anahí Frías López es Maestra en Ciencias por la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), institución donde también cursó la Licenciatura en Químico Farmacobiología, obteniendo en ambos grados mención honorífica por su desempeño académico y sus trabajos de tesis.

Actualmente es estudiante del Doctorado en Ciencias Químicas en el Laboratorio de Diseño Molecular de la UMSNH bajo la dirección del Dr. Carlos J. Cortés García y Alejandro Islas Jácome.

Su trayectoria incluye la publicación de dos artículos científicos, así como la participación en congresos nacionales e internacionales, talleres y foros de divulgación científica. Ha colaborado en la formación académica, desempeñándose como sinodal y coasesoría en tesis de licenciatura.

Su interés académico y profesional se centra en el diseño y síntesis de moléculas potencialmente bioactivas y/o con propiedades fluorescentes mediante las reacciones de multicomponentes clásicas y de alto orden.

La tesis por la que fue acreedora al premio y que le otorgó el grado de Maestra en Ciencias Químicas por la universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, se titula: "Síntesis de moléculas híbridas farmacofóricas mediante procesos one-pot" dirigida por el D.Q. Carlos Jesús Cortés García y codirigida por el D.C. Luis Chacón García.

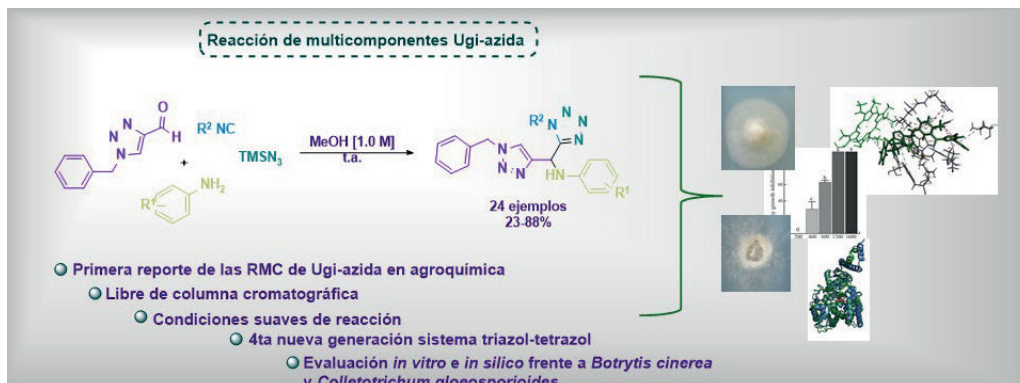
Resumen de la tesis.

En este trabajo se describe una estrategia sintética novedosa para la obtención de una nueva generación de híbridos tetrazol-triazol 8a-x en dos etapas de reacción, utilizando alcohol propargílico como componente bifuncional clave.

La primera etapa consistió en una RMC de 3 componentes, seguida de una reacción de oxidación para obtener el componente aldehído-triazol 4.

La segunda etapa consistió en una RMC de Ugi-azida obteniéndose una serie de 24 compuestos en rendimientos de moderados a buenos, el cual se les evaluó *in vitro* hacia los hongos fitopatógenos *Botrytis cinerea* y *Colletotrichum gloeosporioides* mostrando en la mayoría de los compuestos altos porcentajes de inhibición.

Por otro lado, los estudios de acoplamiento molecular demostraron interacciones favorables en los sitios activos de las enzimas CYP51 y CYP51B. Así los resultados obtenidos resaltan el potencial de estos híbridos como posibles pesticidas. Además de ser el primer reporte en el campo de la agroquímica de un tetrazol 1,5-disustituido vía RMC Ugi-azida.



Premio a la Mejor Tesis de Licenciatura en Ciencias Químicas "Rafael Illescas Frisbie", edición 2025 Q. Luis Fernando Porras Santos



Luis Fernando Porras Santos participó en las Olimpiadas Nacionales de Química, obteniendo medallas de bronce y oro en los años 2017 y 2018, respectivamente.

Impulsado por un profundo interés en la química, se graduó de la Licenciatura en Química en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, donde alcanzó el mejor promedio de su generación y recibió mención Cum Laude. Además, fue distinguido en dos ocasiones consecutivas como Mejor Estudiante de Química de su universidad por la ANFEQUI. En 2022 realizó una estancia de investigación de verano en el programa ENLACE de la Universidad de California, San Diego (UCSD), enfocándose en síntesis total.

Durante el desarrollo de su tesis de licenciatura, exploró una novedosa aplicación sintética de la sal de TEMPO+ para llevar a cabo C-glicosilaciones y participó en la síntesis de un intermediario avanzado utilizado en la preparación del potente antimalárico lasionectrina.

Motivado por su interés en la síntesis total de productos naturales, actualmente cursa el doctorado en Baylor University bajo la dirección del Prof. John L. Wood. C-glicosilaciones de Ferrier mediadas por la sal de TEMPO+ y síntesis de la "(2R,3aR,7aR)-2-propil-2,3,3a,7a-tetrahidro-5H-furo[3,2-b]piran-5-ona" como precursor sintético avanzado de la lasionectrina

Para la obtención del premio presenta la tesis que le otorgo el grado de licenciatura en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla: "C-glicosilaciones de Ferrier mediadas por la sal de TEMPO+ y síntesis de la "(2R,3aR,7aR)-2-propil-2,3,3a,7a-tetrahidro-5H-furo[3,2-b]piran-5-ona" como precursor sintético avanzado de la

lasionectrina" ajo la dirección interna del Dr. Fernando Sartillo Piscil, la codirección interna de la Dra. Leticia Quintero Cortés y la dirección externa del Dr. Pedro López Mendoza:

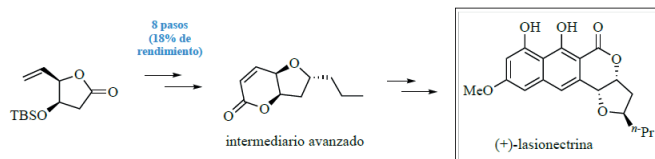
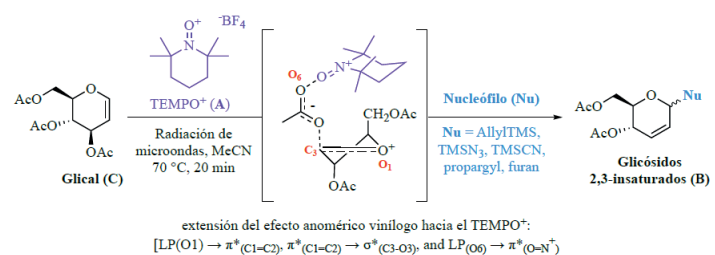
Resumen de la tesis:

Se describe una nueva aplicación del catión TEMPO+ como promotor de reordenamientos de Ferrier para generar glicósidos 2,3-insaturados a partir de glicales, compuestos de gran valor en la síntesis de productos naturales. A través de estudios experimentales y teóricos, se propone que el TEMPO+ actúa como un ácido de Lewis, activando el grupo acetilo en C3 mediante un efecto anomérico vinílico.

Este hallazgo amplía significativamente la química conocida de esta especie y abre nuevas posibilidades para el diseño de reacciones futuras. Además, se presenta una estrategia sintética eficiente para obtener un intermediario avanzado empleado en la síntesis de la (+)-lasionectrina, un metabolito con potente actividad antimalárica.

A diferencia de intentos previos con bajos rendimientos o problemas de estereoquímica, la nueva ruta permite obtener el intermediario en ocho pasos, con alto rendimiento y cantidad, mediante el uso del *chiron approach*.

Esta metodología no solo viabiliza la síntesis de la lasionectrina, sino que también permite introducir distintos sustituyentes para explorar análogos de naftopiranas fusionadas a furano con potencial terapéutico.



Fortaleciendo el talento humano en Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación: las becas Secihti como puente hacia el posgrado

Gabriela Navarro-Tovar^{1,2,*}

Resumen

La ciencia y tecnología contribuye a la resolución de problemas nacionales y las personas profesionistas con posgrado son una fuerza laboral que contribuye sustancialmente a dicho aspecto. Las becas otorgadas por el antes Conacyt, hoy Secihti, han sido un puente fundamental para que miles de estudiantes continúen su preparación académica dentro y fuera del país. Sin embargo, la limitada inversión en ciencia y tecnología en México impacta en el número de becas, infraestructura y oportunidades laborales en el país. Son necesarias políticas que favorezcan el acceso a becas, la inserción laboral y el desarrollo científico.

Keywords: becas posgrado; PIB basado en conocimiento; inversión a ciencia.

Abstract

Science and technology contribute to solving national problems, and professionals with graduate degrees are a workforce that contributes substantially to this effort. Scholarships awarded by the former Conacyt, now Secihti, have been a crucial bridge for thousands of students to continue their academic training both within and outside the country. However, limited investment in science and technology in Mexico impacts the number of scholarships, infrastructure, and job opportunities in the country. Policies that promote access to scholarships, job placement, and scientific development are needed.

Keywords: graduated scholarships; knowledge-based gross domestic product; investment in science.

Introducción

Cuando un país invierte en Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI) puede reducir su dependencia de tecnologías extranjeras, y es capaz de resolver problemas con conocimiento propio. Además, se pueden generar empleos en el ecosistema: universidades (centros de investigación)-empresas-gobierno-sociedad, a esto se le conoce como producto interno bruto (PIB) basado en conocimiento (*knowledge-based-economy*, en inglés), que es uno de los indicadores de desarrollo sostenible de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), pues refleja alta inversión en tecnología, y mano de obra con habilidades técnicas especializadas y educación, transformación digital e innovación en sistemas (OECD, 1996). La inversión en CTI se evidencia en educación científica y la cultura de la tecnología e innovación, propicia empleos para sus ciudadanos con altas habilidades, por lo que se retiene ese talento humano que, en otras circunstancias, buscaría opciones en el extranjero.

En México, tenemos derecho al acceso a la información, educación, y a la ciencia. En 2019, el Artículo 3 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, tuvo modificaciones, y la ciencia y la innovación pasan de ser “promovidas”, a convertirse en un derecho, indicando que el Estado Mexicano tiene el compromiso de apoyar la investigación humanista, científica y tecnológica (DOF, 2019). Sin embargo, en nuestro país, la inversión en CTI no crece para alcanzar lo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) que es al menos el 1% del producto interno bruto anual (PIB) (UNESCO, 2021). En 2010, el gobierno asignó el 0.32% del PIB a Ciencia y Tecnología, esa cifra fluctuó en dicha década alcanzando 0.35% en 2014 y cayendo a 0.24% en 2019 (DOF, 2022). Entre 2020 y 2024 se reportó una cifra de 0.21 a 0.26 % (Centro de Estudios de las Finanzas Públicas, 2025). En 2023, el Congreso modificó la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencia, Tecnologías e Innovación, eliminando la obligación del gobierno a invertir el 1% del PIB en CTI. En 2025, el presupuesto en este rubro se redujo a 0.16%, ¡el más bajo en una década! (SHCP, 2025), y para 2026 el presupuesto autorizado es de 0.17% (México Evalúa, 2025). La inversión en CTI se distribuye en infraestructura para centros de investigación y universidades, proyectos que busquen dar respuestas a problemáticas nacionales, acceso universal al conocimiento (difusión, divulgación e incentivar vocaciones científicas), gastos administrativos de la Secihti, y becas, principalmente para estudiar posgrados en áreas prioritarias.

Este artículo aborda las becas de posgrado desde la perspectiva de una investigadora que fue becaria Conacyt, y actualmente forma talento humano en ciencia como Investigadora por México. Integra análisis estadístico, experiencia personal y testimonios de becarios en el extranjero, explorando sus decisiones de regresar o permanecer fuera del país tras concluir sus estudios, así como su impacto en la generación de conocimiento nacional.

Relatando brevemente las políticas públicas de CTI en México

La elaboración de un proyecto de ciencia y tecnología en el país se delineó a finales de 1970, cuando se aprobó la creación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt), y se institucionalizan las actividades científicas en materia de salud, producción agropecuaria, forestal, industrial, comercio exterior y desarrollo social (Jiménez de Sandi Valle, 2022).

El Consejo empieza a fungir como asesor científico del gobierno federal, y en los años que siguieron, sus acciones se

¹ Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación,
² Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí,
gabriela.navarro@uaslp.mx

dividieron en: programa de becas nacionales que incentivara la formación de profesionistas en áreas de interés para el país, creación de centros de investigación como el Instituto de Investigaciones Eléctricas (hoy, Instituto Nacional de Electricidad y Energías Limpias, Morelos), y el Instituto de la Madera, Celulosa y Papel (actualmente parte de la División de Ciencias Exactas e Ingenierías de la Universidad de Guadalajara); mecanismos de cooperación con instituciones internacionales, y apoyo a programas de investigación. La cooperación internacional en la primera década de Conacyt propició un intercambio de becarios a Japón (“Programa 100 estudiantes”) (Uscanga, 2016). Para 1974, el Conacyt reportó que 800 instituciones nacionales realizaban investigación científica y tecnológica con cerca de 10 000 personas investigadoras y técnicos (Chavero González, 1984). Con un nuevo modelo económico neoliberal en los 80, se puso en marcha el Programa Nacional de Ciencia y Tecnología 1978-1982, que asignaron recursos financieros al Conacyt para impulsar proyectos científicos, la generación de centros de investigación regionales, y por supuesto, becas. El plan consideró tratar de llegar al 1% de PIB para ciencia y tecnología apoyando las áreas o programas prioritarios que en aquel entonces fueron: sector energético, industria química, industria metalmeccánica, industria eléctrica y electrónica, así como la administración pública (Flores, 1983). En 1984, se crea el Sistema Nacional de Investigadores (SNI) basado en la propuesta de la Academia de la Investigación Científica, que expresaba la necesidad de mejorar los ingresos económicos de la comunidad científica y retener la salida al extranjero de talento humano por falta de empleos bien remunerados. Hoy en día, el reconocimiento en el Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) es asignado por evaluación por pares y varía de acuerdo con criterios de áreas específicas y que incluyen la productividad científica y formación de talento humano (Didou Aupetit y Gérard, 2010). Sus bases se han modificado a lo largo de su existencia, pero lo que era un programa temporal, se convirtió en un estímulo necesario y no está libre de críticas ante el incremento de los criterios que involucran un trabajo científico acelerado, y no necesariamente original. Entre 1984 y 1988, el número de integrantes era alrededor de 100, para 2025, la cifra fue de 26 390 investigadores y 18 445 investigadoras dentro del SNII (Secihti, 2026a).

En la década de los 90, hubo apertura al comercio internacional incentivando el aumento de la productividad y la competitividad, lo que incidió en un apoyo a proyectos en ciencias exactas y las ingenierías. En las crisis y devaluaciones de 1994 y 1998, la escasez de empleos y la urgente necesidad de actualizar la tecnología evidenció que el financiamiento a investigación requería ajustes y se promovió entre la iniciativa privada la inversión a instituciones académicas/científicas, priorizando proyectos tecnológicos (García Santillán, 2007). Para 1999, se generó la Ley de Fomento de la Ciencia y Tecnología que reiteró las responsabilidades de Conacyt y le asignó nuevas tareas, como la participación en la definición de políticas para ciencia y tecnología en la Administración Pública Federal y se creó el Foro Permanente de Ciencia y Tecnología. Para 2002, se abrogó y reemplazó por la Ley de Ciencia y Tecnología, que define que el gasto en CTI debe enfocarse en áreas prioritarias y crea estímulos fiscales, con lo que se promueve garantizar la libertad de cátedra e investigación, dar prioridad a los proyectos que se enfoquen en soluciones a problemas nacionales y a su vez que generen conocimiento. En las décadas siguientes, la

Ley de Ciencia y Tecnología sufrió modificaciones que enfatizan la participación de la inversión privada, y el acceso a la ciencia como cultura general de la sociedad. Entre los aspectos que se han modificado son: 1) fomentar el desarrollo tecnológico e innovación en empresas nacionales, 2) promover el desarrollo, vinculación y disseminación de la investigación científica, 3) incentivar la participación equilibrada y sin discriminación por género y el desarrollo de las nuevas generaciones de personas en investigación y tecnología, 4) el registro ante Conacyt de instituciones, centros y empresas que se interesen en recibir estímulos federales para investigación, 5) promover la creación de unidades de vinculación y transferencia de conocimiento (DOF, 2020).

En 2019, Conacyt integró a las humanidades y ciencias sociales dentro de los ejes prioritarios de investigación. Paralelamente, surgen los Programas Nacionales Estratégicos (PRONACES) para sumar capacidades científicas y tecnológicas con actores sociales del sector público y privado, concordando con los Objetivos del Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 de la ONU (ODS, 2015). La propuesta inicial fueron 11 programas, pero para 2025 han quedado en siete Proyectos Estratégicos de Ciencias y Humanidades: medio ambiente, desigualdad e inclusión social, agricultura, patrimonio y diversidad cultural, desarrollo productivo, humanismo mexicano y salud (Secihti, 2026b). En mayo de 2023, se publicó la Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación, que sustituye a la Ley de Ciencia y Tecnología, y que transforma al Conacyt en Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia, Tecnología e Innovación, Conahcyt. Su artículo 2, reconoce el derecho de toda persona participar en el progreso humanístico, científico y tecnológico, así como gozar de sus beneficios (DOF, 2023), en concordancia con el artículo 3 de la Constitución. Este marco impulsa el acceso universal al conocimiento, involucrando a toda la comunidad científica, incluyendo personas becarias de posgrado, en actividades de difusión y divulgación. En enero de 2025, el Conahcyt se convierte en la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Secihti, con un modelo colaborativo, intersecretarial, interinstitucional, internacional y multidisciplinario. Este cambio promete fortalecer capacidades científicas y sociales, y dar continuidad a becas nacionales y en el extranjero (Secihti, 2024).

Las becas para estudiantes de posgrado: el derecho y compromiso

De acuerdo con el INEGI y organismos internacionales, la mayoría de la población mexicana alcanza educacionalmente, únicamente la educación básica con un grado de escolaridad promedio, en 2020, de 9.7 años, y alrededor del 50-55% de la población a la educación básica (INEGI, 2020). Y es claro que decrece el porcentaje conforme avanza la formación académica, solo el 20-25 % de alcanza el nivel medio superior y únicamente 18-20% logra estudios de licenciatura. Este porcentaje disminuye drásticamente en el posgrado, y las cifras varían según la fuente consultada oscilando el 17%, y particularmente las personas con doctorado, están entre el 0.1 y 1% de la población mexicana (Huitrón, 2025). Datos de la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, ANUIES; indican que en 2024-2025 la población egresada de maestrías y doctorados de universidades y centros de investigación públicos y privados fue de 152 763 personas, lo que equivale al 0.1% de la población mexicana en 2025 (ANUIES, 2025). La reducción en la población con estudios de

posgrado es resultado de factores como las barreras económicas con limitado acceso a becas y apoyos, desigualdad en el acceso a la educación por regiones, la necesidad de incorporarse a la fuerza laboral desde edades tempranas y una limitada oferta de posgrados.

¿Y por qué es importante el acceso a educación de posgrados? Las personas profesionistas que estudian maestrías y doctorados adquieren habilidades técnicas y blandas en áreas prioritarias para el país, para contribuir a la solución de problemas en un campo disciplinar específico. Una maestría profundiza en un área específica del conocimiento, combinando la teoría y la práctica, desarrollando habilidades analíticas en la persona que estudia, quien generará un documento de tesis o publicaciones en el transcurso de dos años. Por otro lado, los estudios de doctorado son la máxima titulación académica e implica generar conocimiento, tecnología y/o procesos innovadores durante sus estudios, enfocándose en el desarrollo de pensamiento crítico, análisis, resolución de problemas, gestión de proyectos y la defensa de una tesis ante un comité experto. Si bien, existen posgrados de alta calidad en el país, algunas personas toman la oportunidad de formarse en posgrados en el extranjero al encontrar ofertas educativas únicas y/o que les permitan incrementar su conocimiento técnico, así como adquirir un segundo o tercer idioma. Estudiar un posgrado de tiempo completo, implica que la persona debe cubrir el costo de su inscripción y manutención, difícilmente tiene la oportunidad de compaginar un trabajo al incorporarse a un programa de posgrado de alto nivel; por ello, se buscan opciones de becas, como las que oferta el gobierno federal a través de la Secihti, que considera elegibles para beca a aquellas personas aceptadas en programas de maestría y doctorado de calidad y debidamente registrados en el Sistema Nacional de Posgrados (Conahcyt, 2023). Además, la persona aceptada debe cumplir algunos requisitos: demostrar la titulación del grado académico anterior, carta compromiso donde se expresa el cumplimiento de actividades previstas al tener beca Secihti y no tener adeudos o incumplimientos con becas previas (Secihti, 2026c).

Asimismo, existen convenios con instituciones internacionales que reciben estudiante de México para cursar sus estudios. En 2025, Secihti comunicó las universidades extranjeras y el tipo de aportaciones bipartitas (Secihti, 2025), que cubre las colegiaturas anuales, manutención y seguro médico. Cada institución tiene sus particularidades que se deben revisar bien antes de aplicar. Una vez concluidos los estudios en el extranjero, se pide la persona becada que regrese a México y demostrar una residencia mexicana durante seis meses, para dar por liberada la beca según lo indicado en los artículos 20 y 21 del Reglamento de Becas (Secihti 2026d; DOF, 2025).

Un documento del Ing. Edmundo Flores, director del Conacyt de 1977 a 1982, menciona que en el primer año del Consejo (1970), se otorgaron 580 becas, y para 1982 se registraron más de 6 000 becas (Flores, 1983). Las cifras han fluctuado a lo largo de cuatro décadas. La Figura 1 muestra el registro público de las becas otorgadas desde 2012 a la fecha, de acuerdo con la Secihti, donde se observan fluctuaciones en las cifras (Secihti, 2026e). En 2024 se registró un aumento de 30% en el número de becas (total de 113 298 becas), y vuelve a disminuir en 2025 en un 15%. Sin embargo, el porcentaje de becas al extranjero ha decaído; durante 2012 y 2017. El porcentaje de becas (maestría, doctorado y especialidades) al extranjero osciló entre el 8.1 y 9.6 % del total

de becas. En 2018, decayó a 6.9 % y en 2024 y 2025 fue solo del 2.5 y 2.8%, respectivamente. Esto puede deberse a la priorización de las becas en posgrados nacionales y a la apertura de otros rubros de becas como becarios indígenas, apoyo a madres mexicanas, apoyo a personas con discapacidad. En lugar de incrementar el presupuesto para cubrir todos los sectores susceptibles a becas, el presupuesto queda estancado o se ve recortado y se disminuyen los apoyos que históricamente se habían ganado.

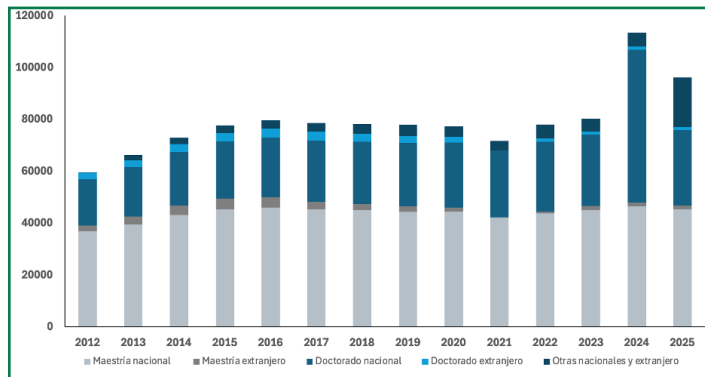


Figura 1. Becas nacionales y al extranjero asignadas por Secihti (antes Conacyt) para estudios de maestría y doctorado, y otras asignaciones de 2012 a 2025*. * Otras nacionales y extranjero conjunta becas o montos etiquetados como "especialidades", "Archivo General de la Nación", "reembolsos", "N/A", "Conacyt DAAR", "licenciatura", montos a centros de investigación nacionales y extranjeros. En 2021 no hubo convocatoria para becas al extranjero. Gráfica propia elaborada con el archivo histórico de Secihti.

La persona becada ejerce un derecho de acceso a la ciencia y la educación especializada, su beca proviene del presupuesto federal a Secihti, y se adquieren compromisos con la institución que lo recibe para formarse y con Secihti: dedicarse a sus estudios de tiempo completo, promover el acceso universal al conocimiento en actividades de divulgación e incentivar vocaciones científicas. Podemos decir que es un ganar-ganar para las partes involucradas: la persona becada que egresa de un programa de posgrado tiene conocimiento y habilidades que lo pueden posicionar en puestos laborales mejor pagados, las instituciones cumplen con su máximo objetivo al formar talento humano en sus aulas y laboratorios, y se generan conocimiento en soluciones, productos o bienes que benefician a la sociedad.

Suena bien el ciclo de aprender-generar conocimiento-retribuirlo, pero hay obstáculos en el camino que limitan la eficiencia: 1) el presupuesto federal no solo para asignación de becas, sino también para proporcionar recursos para investigación a las instituciones, 2) deserción escolar por diversas razones, 3) oferta laboral acorde al número de personas egresadas de los programas de posgrado; y en el caso de la comunidad de estudiantes en el extranjero se suma 4) las dificultades de adaptarse a una cultura distinta, 5) la llamada "fuga de cerebros", personas que no regresan a México por falta de oportunidades laborales.

De forma personal, al estar interesada por la química y biología, quise especializarme y desarrollar habilidades para construir una carrera científica. Después de concluir una maestría en Ciencias Químicas (con beca Conacyt), apliqué para un programa de doctorado en Ciencias en Ingeniería Química en Western University (2010-2014), una vez aceptada, apliqué a una beca de

Conacyt, cumpliendo con los requisitos 2010 (promedio mayor a 8.5 en el grado anterior, probatorio de idioma inglés, carta de aceptación en la universidad, entre otros).

Fueron 4 años de formación intensa en cursos y estancias en el laboratorio, donde pude formarme no sólo académicamente, también en habilidades blandas, adaptación a otra cultura y territorio, que retribuyeron a mi regreso a México: aprendí a comunicarme de forma oral y escrita en inglés, a ser partícipe de un trabajo colaborativo con personas de diversas ideas, a adaptarme a los cambios, y a conocer cómo se resuelven algunas situaciones con formas de pensar distintas a la mía, y a gestionar proyectos científicos. Coincidió con más personas de México en mi institución, bien recibidas en Western University, pues a lo largo de los años, demostraron altos conocimientos académicos y adaptabilidad a los posgrados.

Durante el periodo de mis estudios, éramos 11 estudiantes mexicanos en mi grupo de investigación y otros cercanos, de los cuales, tres regresamos a México al concluir nuestro programa, y ocho no. Se aplicó una encuesta a ocho de ellos para conocer sus opiniones (tres de ellos no quisieron responder o no pudieron ser contactados), la mayoría aseguró que su mayor expectativa al ingresar al posgrado en el extranjero fue el aprender o mejorar su comunicación en un segundo idioma en su área de investigación (Figura 2). Además, se preguntó si fue importante tener la beca Conacyt (hoy Secihti) y sus razones por las cuales regresaron o no a México. El 87% aseguró que no podría haber realizado sus estudios de posgrado sin una beca del gobierno mexicano y el 63% dijo que el posgrado le ayudó a encontrar mejores oportunidades laborales. Las tres personas encuestadas que regresaron a México dijeron que la razón de su regreso fue su familia o aplicar sus conocimientos en el campo laboral mexicano, mientras que los cinco que laboran en el extranjero enlistaron que fuera de México tienen un mejor campo de trabajo relacionado con su nivel profesional, que las oportunidades de trabajo son mejor remuneradas, hay mayor seguridad y perciben mejor estilo de vida. De las personas encuestadas tres se dedican a la investigación o docencia en universidades públicas mexicanas, y los demás tienen puestos gerenciales y de supervisión en procesos, sistemas de calidad y consultoría en empresas privadas en el extranjero.

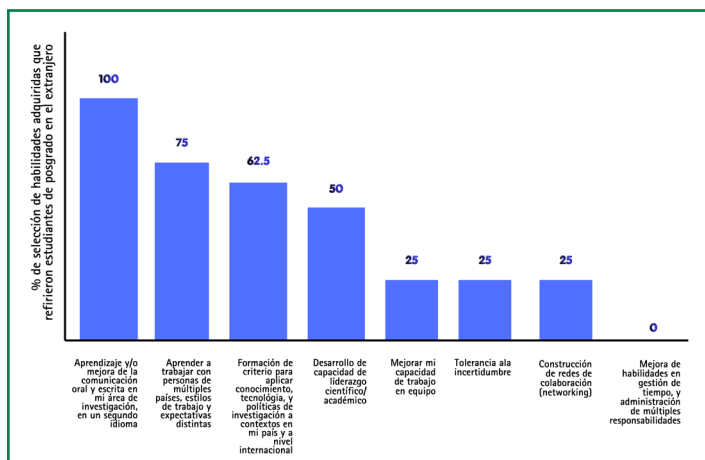


Figura 2. Habilidades que las personas becarias Conacyt entre 2010-2016 en Western University (Canadá) expresaron como relevantes al estudiar un posgrado en el extranjero. Datos de encuestas realizada a ocho colegas mediante Google Forms entre octubre y diciembre 2025. Las frases en colores son las más seleccionadas, las frases en gris fueron opciones no seleccionadas en la encuesta.

Estos datos son una pequeña muestra de la toma de decisiones a las que se ven enfrentadas las personas con alta especialidad laboral. El director del Instituto de los Mexicanos en el Exterior (IME), Francisco de la Torre Galindo, afirmó en entrevista a medios digitales que al menos un millón de personas mexicanas en el extranjero tienen títulos de licenciatura, maestría y doctorado (Aristegui, 2015), haciendo evidente la “fuga de cerebros” que buscan mejores oportunidades laborales.

Regresar a México fue un reto de adaptabilidad. Mi primer trabajo fue impartiendo clases en inglés en universidades privadas, después un posdoctorado en la UASLP con una beca del Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) en apoyo a un cuerpo académico consolidado en la institución, y en 2016, logré mi inserción al Programa de Cátedras CONACYT, hoy Investigadores e Investigadoras por México, pues mi perfil era adecuado al proyecto que desarrollo actualmente. Mantengo el pensamiento que mi carrera profesional no hubiera sido la misma sin el apoyo de las becas de posgrado que recibí. Y hoy en día, desarrollo proyectos que forman talento humano (con becas Secihti) y generan conocimiento en áreas de conocimiento prioritarias para el país.

Más becas, ¿más empleos?

El número de aspirantes a becas de posgrado aumenta, pero el presupuesto parece seguir limitado para CTI y humanidades. No es fácil relacionar si a mayor número de becas, mayor número de empleos, pues esto depende en gran medida de adecuadas políticas públicas que generen nichos donde los egresados y egresadas de maestrías y doctorados, puedan desplegar su potencial profesional. Pero si eleva las capacidades laborales y en algunos casos, la expectativa salarial, lo que conduce a altos niveles de competitividad en varias áreas laborales. En una publicación de Mejía-Chávez y Soilero Rebolledo en 2016, se menciona que ese año egresaron 111'000 personas de posgrados en México, de los cuales 39.3% están relacionados con Ciencia y Tecnología, sin embargo, solo el 50% tuvo empleos acordes a sus estudios (Mejía-Chávez y Sollero Rebolledo, 2018). Otro seguimiento hecho por Salas-Durazo y García-Bátzi analiza la incorporación de egresados y egresadas de los posgrados ofertados por la Universidad de Guadalajara en 2020. De las 1'344 personas encuestadas de 46 posgrados, 79% de mujeres expresaron tener un empleo acorde a sus conocimientos contra un 83% en hombres. También expresaron que, el posgrado apoyó un incremento en las percepciones económicas, incremento en el nivel jerárquico y de responsabilidades, un cambio laboral que mejoró sus condiciones profesionales y algunos crearon su propia empresa. Llama la atención que el 34% y 43% de las mujeres y hombres encuestados, respectivamente, alcanzaron niveles ejecutivos/gerenciales y ejecutivos en empresas (Salas Durazo y García Bátiz, 2024). Asimismo, la brecha salarial de género sigue estando presente en niveles gerenciales (los hombres ganan 12% más que las mujeres en estos niveles). Acceder a puestos gerenciales y directivos puede deberse que en los posgrados se desarrollan habilidades de liderazgo, la gestión de proyectos (que incluye habilidades para la comunicación escrita y oral), la capacidad de análisis estratégico, y toma de decisiones complejas.

Ideas finales

El estudio de posgrados por profesionistas mexicanos es la oportunidad de mejorar las habilidades técnicas y laborales, un posgrado en el extranjero amplía la visión y genera redes de trabajo internacionales enriqueciendo la actividad académica/científica. La persona becaria Secihti, asume un compromiso social. Un país que incrementa el número de profesionistas con maestrías y doctorado nacionales e internacionales fortalece la CTI y el producto interno bruto basado en el conocimiento, así, la dependencia de tecnología extranjera disminuye. Las becas deben entenderse como una inversión para formar personas con altas especialidades y que se traduce en avances médicos, nuevas tecnologías energéticas, mejora en técnicas de riego en campos agrícolas, por mencionar algunos ejemplos. Sin embargo, es innegable la falta de ofertas académicas, infraestructura científica y la incertidumbre de políticas de ciencia y tecnología, que evita la inserción laboral adecuada o incluso, el regreso a México de personas becarias Secihti. Se debe seguir promoviendo un incremento en el presupuesto para CTI con asignaciones claras pues el incremento del PIB es la décima parte de lo marcado a nivel global por la UNESCO como un buen financiamiento. En 2026, las universidades públicas enfrentan un recorte del 2% al 8% que afectará la infraestructura universitaria educativa y de investigación. Debemos, desde nuestros espacios, seguir con la petición de un incremento en el número de becas nacionales e internacionales. Igualmente, las nuevas generaciones que asumen el compromiso (y privilegio) de estudiar posgrados, también deben de voltear a ver otros nichos laborales: el emprendimiento en áreas tecnológicas y consultoría, desarrollo de Start ups, buscar incorporarse también en campos laborales gubernamentales y privados, entre otros.

Referencias

1. Organisation For Economic Co-Operation And Development, "The Knowledge-based economy OCDE/GD(96)102," 1996. [https://one.oecd.org/document/OCDE/GD\(96\)102/en/pdf](https://one.oecd.org/document/OCDE/GD(96)102/en/pdf) (acceso 15 noviembre 2025).
2. Diario Oficial de la Federación, Ley Reglamentaria del Artículo 3 de Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación, México, 30 de septiembre de 2019. https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LRArt3_MMCE_300919.pdf (acceso 15 noviembre 2025).
3. UNESCO Gross Domestic Expenditure on R&D (GERD) as a percentage of Gross Domestic Product (GDP) 1996-2021. <https://databrowser.uis.unesco.org/view#hs=UIS-DemSocEco%3A0%3ANY.GDP.PCAP.geoMode=countries&geoUnits=&timeMode=range&view=table&chartMode=multiple&chartHighlightSeries=&chartHighlightEnabled=true&indicatorPaths=UIS-SDG9Monitoring%3A0%3AEXPGDP.TOT&year> (acceso 19 marzo 2026).
4. Diario Oficial de la Federación. Centro de Investigación en Química Aplicada, Programa Institucional 2022-2024 Centro de Investigación en Química Aplicada. Programa Institucional Entidades Sectorizadas derivadas del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024, México 2022 <https://sidof.segob.gob.mx/notas/docFuente/5658367> (acceso 15 febrero 2026).

5. Centro de Estudios de las Finanzas Públicas Ifigenia Martínez Hernández. Cámara de Diputados, Composición del Gasto Público Federal en Ciencia, Tecnología e Innovación (2019-2024). Nota Informativa notacefp, 161, México, 20 de noviembre de 2025 <https://www.cefp.gob.mx/publicaciones/nota/2025/notacefp1612025.pdf> (acceso 5 enero 2026).
6. Secretaría de Hacienda y Crédito Público. Gobierno de México, "Anexos Analíticos Presupuestarios. II Educación Pública. Presupuesto de Egresos de la Federación 2025, 2025. <https://www.pef.hacienda.gob.mx/es/PEF2025/anexos>. (acceso 5 de enero 2026).
7. México Evalúa, La realidad tras el aumento presupuestal a educación y ciencia en 2026, 28 noviembre 2025. <https://numerosdeerario.mexicoevalua.org/tag/gasto-en-ciencia-y-tecnologia/> (acceso 5 de enero 2026).
8. Jiménez de Sandi Valle A. G., Sociológica, 2022, 37, 221-248. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-01732022000100003
9. Uscanga C., Red sobre Internacionalización y Movilidades Académicas y Científicas. Cinvestav. CONACYT 2016. <https://rimac.mx/movilidad-academica-en-la-relacion-mexicano-japonesa-en-la-posguerra-programa-especial-de-intercambio-para-estudiantes-y-becarios-tecnicos-jica-conacyt-de-1971/> (acceso 15 enero 2026).
10. Chavero González A., Problemas del Desarrollo 1984, 15, 65-75. <https://www.jstor.org/stable/43837157> .
11. Flores E., El Trimestre Económico, 1983, 50, 771-768. <https://www.jstor.org/stable/43837157>
12. Didou Aupetit S., Gérard E., El sistema nacional de investigadores, veinticinco años después. La Comunidad Científica, entre distinción e internacionalización, Ed. ANUIES. DF, México, 2010. ISBN 978-607-451-028-7. https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers11-11/010052023.pdf
13. Secretaría de Ciencia, Humanidades, tecnología e Innovación. Crece la presencia de las mujeres en la ciencia en México para un futuro mejor, 7 marzo 2026. <https://secihti.mx/sala-de-prensa/crece-la-presencia-de-las-mujeres-en-la-ciencia-en-mexico-para-un-mejor-futuro/#:~:text=De%202019%20a%202025%20en,44%20a%2026%20mil%2039> (acceso 19 marzo 2026).
14. García Santillán P. G., La política de ciencia y tecnología a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (conacyt): un recorrido en la investigación y el desarrollo en XXVI Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. Asociación Latinoamericana de Sociología, Guadalajara, México, 2007. <https://www.academica.org/000-066/80> .
15. Diario Oficial de la Federación, Ley de Ciencia y Tecnología. Última Reforma DOF 06-11-202, México: Congreso de los Estados Unidos Mexicanos. México, 2020. https://sep.gob.mx/work/models/sep1/Resource/15131/2/images/ley_ciencia_tecnologia_01_2020.pdf . (acceso 15 de enero 2026).
16. Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, Organización de las Naciones Unidas, 25 septiembre 2015 <https://www.un.org/>

- sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/ (acceso 15 de enero 2026).
17. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Proyectos Estratégicos de Ciencias y Humanidad 2026. <https://secihti.mx/ciencia-y-humanidades/proyectos-estrategicos-de-ciencia-y-humanidades/> . (acceso 19 marzo 2026).
 18. Diario Oficial de la Federación. Decreto de Ley General en Materia de Humanidades, Ciencias, Tecnologías e Innovación. DOF: 8 mayo 2023. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5688048&fecha=08/05/2023#gsc.tab=0 (acceso 15 de enero 2026).
 19. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Nueva Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación entra en funciones, 31 de diciembre 2024. <https://secihti.mx/sala-de-prensa/nueva-secretaria-de-ciencia-humanidades-tecnologia-e-innovacion-entra-en-funciones/> (acceso 15 de enero 2026).
 20. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Información Demográfica y Social. Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020. 2020. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/> (acceso 19 marzo 2026).
 21. Huitrón L., La importancia de los estudios de posgrado en el mercado laboral mexicano, Infobae, 10 abril 2025. <https://www.infobae.com/mexico/2025/04/10/la-importancia-de-los-estudios-de-posgrado-en-el-mercado-laboral-mexicano/#:~:text=Con%20solo%20el%2017%25%20de,destacar%20en%20un%20mercado%20competitivo&text=En%20un%20mercado%20laboral%20cada,salario%20como%20d> (acceso 15 de enero 2026).
 22. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. Anuario Estadístico de la Población Escolar en Educación Superior, 2025. <https://anuario.anui.es.mx> (acceso 19 marzo 2026).
 23. Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías. Lineamientos del Sistema Nacional de Posgrados, 26 julio 2023. https://secihti.mx/wp-content/uploads/SNP/Lineamientos_SNP.pdf (acceso 15 noviembre 2025).
 24. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, Becas Nacionales, 2026. <https://secihti.mx/becas-nacionales/> (acceso 19 marzo 2026).
 25. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Convenios de Colaboración para becas al extranjero, 2025. https://secihti.mx/wp-content/uploads/convocatorias/becas-extranjero/documentos/2025/Convenios_2025.pdf (acceso 15 de enero 2026).
 26. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Becas al extranjero, 2026. <https://secihti.mx/becas-al-extranjero/> (acceso 19 marzo 2026).
 27. Diario Oficial de la Federación. Acuerdo por el que se expide el Reglamento de becas de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación, 4 marzo 2025. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5750804&fecha=04/03/2025#gsc.tab=0 (acceso 15 enero 2026).
 28. Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación. Padrón de beneficiarios. S190 Becas de Posgrado y Apoyos a la Calidad, 2026. [Online]. Available: <https://secihti.mx/padron-de-beneficiarios/> . (acceso 15 enero 2026).
 29. Aristegui. En el extranjero, 1 millón de mexicanos con licenciatura, maestría o doctorado, 28 noviembre 2015. Available: <https://aristeguinoicias.com/2611/mexico/en-el-extranjero-1-millon-de-mexicanos-con-licenciatura-maestria-o-doctorado/>. (15 enero 2026).
 30. Mejía-Chávez A. O., Sollero-Rebolledo J. L., Instituto de Investigaciones Económicas UNAM, 2018, 3, 746-763. <https://ru.iiec.unam.mx/4346/>
 31. Salas Durazo I.A., García Bátiz M.L., Revista Mexicana de Investigación Educativa 2024, 28, 1081-1102. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-66662023000401081

Granular para curar: impacto de las partículas en la calidad de los medicamentos

Mariana Ortiz Reynoso*

Resumen: En el presente trabajo se muestra la importancia de la operación unitaria de la granulación farmacéutica, y se expone un ejemplo de evaluación de fórmula y proceso, mediante la caracterización de flujo, densidad, tamaño y forma de los granulados, así como de la dureza y el tiempo de desintegración de tabletas de valproato de magnesio.

Abstract: This paper shows the importance of the unit operation of pharmaceutical granulation, and we present an example of formula and process evaluation, by characterizing the flow, density, size and shape of the granulates, as well as the hardness and disintegration time of magnesium valproate tablets.

Palabras Clave: Granulación, aglutinante, valproato de magnesio, tabletas orales.

Cuando pensamos en un medicamento oral, quizás imaginamos una tableta que tomamos con un vaso de agua, pero poco sabemos sobre el camino que recorrió ese comprimido antes de llegar a nuestra mano. Detrás de una tableta hay importantes aplicaciones científicas y una producción cuidadosa y altamente regulada: personas científicas y tecnólogas que trabajan para que un medicamento sea seguro, eficaz y estable. Y a veces, ese trabajo comienza con algo tan diminuto como... una partícula de polvo o un gránulo.

El presente texto tiene como fin dar a conocer, de forma cercana y en términos sencillos, al estudiantado de bachillerato un ejemplo del trabajo realizado en el Laboratorio de Farmacia de la Universidad Autónoma del Estado de México relativo a los granulados de valproato de magnesio. Este fármaco es comúnmente utilizado para tratar la epilepsia, un trastorno neurológico que afecta a cerca de 50 millones de personas en el mundo, incluyendo muchos pacientes en América Latina (Acevedo, 2008; OMS, 2018).

Las tabletas orales de valproato de magnesio son eficaces una vez que se administran y llegan al torrente sanguíneo, pero el proceso para fabricarlas supone algunos desafíos; como lograr una compresión efectiva del polvo tal que forme tabletas suficientemente compactas y resistentes, o adicionar una fina capa de recubrimiento entérico a los núcleos (como llamamos a los comprimidos sin recubrir). Esto último implica que el polímero formador de la película de recubrimiento no se disuelva a pH ácido, para que la tableta pase intacta del estómago al intestino. Regresando a la compresión del polvo, para esta operación se requiere partir de un material pulverulento que fluya libremente dentro de los equipos de fabricación y que sea compactable. Si el

* Profesora de Tiempo Completo, Universidad Autónoma del Estado de México
mortizr@uaemex.mx



Figura 1. Dulce típico denominado muégano. Imagen tomada de: <https://www.cocinafacil.com.mx/recetas/muganos>

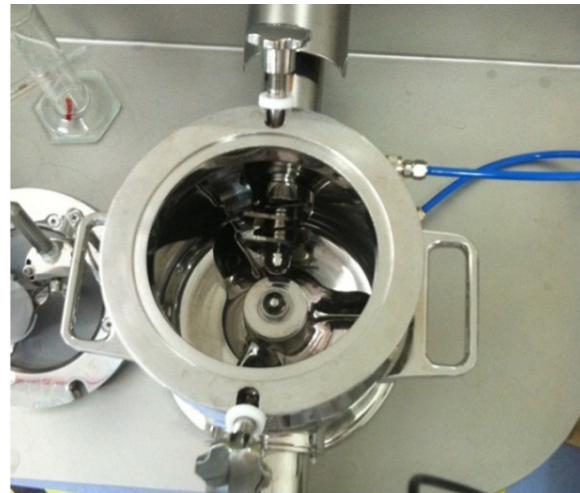
polvo no fluye bien, se atora dentro de las tolvas de alimentación y resulta imposible transformarlo en un monolito de peso uniforme. Incluso debe verificarse que todos los lotes de un mismo material tienen un flujo adecuado (Alcantara & Ortiz, 2014). Aquí es donde empieza nuestra historia: encontrar la manera correcta de “granular” para curar.

Nuestra pregunta de investigación fue: ¿cuál es la mejor combinación tanto de ingredientes como de condiciones de proceso para el granulado de valproato de magnesio? Para responderla, diseñamos un experimento con valor estadístico, del que resultó la fabricación de 18 lotes diferentes, en los que probamos seis tipos de aglutinantes y tres velocidades de agitación del GAC, usando una misma fórmula base de valproato de magnesio. Tras la granulación, cada lote fue sometido a pruebas novedosas que aún no están en la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM, que es el texto de carácter obligatorio que usamos para evaluar la calidad de los medicamentos) (Secretaría de Salud, 2014). En este estudio hicimos la caracterización de flujo, densidad, tamaño y forma de los granulados, y de dureza (o fuerza necesaria para romper las tabletas) y el tiempo de desintegración, ambos en equipos con cumplimiento farmacopeico.

Del polvo al gránulo

Para que una mezcla de polvos pueda transformarse en un comprimido resistente, homogéneo y seguro, debe tener ciertas propiedades: fluir sin atorarse dentro de la tolva de administración (que es como un embudo por el que pasan los materiales), distribuir uniformemente el principio activo en la mezcla de polvos y compactarse en una tableta que no tenga fracturas. Cuando un polvo farmacéutico no posee cualidades de flujo y compresión adecuadas —como ocurre con el valproato de magnesio— es necesario “ayudarlo”, y este apoyo es un proceso que se llama granulación, y que consiste en que las partículas finas se agrupan para formar agregados más grandes que tienen mejor flujo y comprimen mejor.

Un buen símil para imaginarse los granulados son los muéganos, estos dulces típicos de Tlaxcala y Puebla que se componen de



Figuras 2a y 2b. Contenedores de un granulador de alto corte. Fuente: Laboratorio de Farmacia, UAEMEX.

pedacitos de harina de trigo aglomerados con caramelo hasta hacer una bola del tamaño de una naranja pequeña. Los granulados farmacéuticos son un cúmulo de partículas de polvo pegadas con un material llamado aglutinante. Tienen habitualmente un intervalo de tamaño de 0.2 a 4 mm, dependiendo de su uso final y vía de administración. Los granulados que se usan para comprimir tabletas o llenar cápsulas suelen tener un tamaño entre 0.2 y 0.5 mm. (Mehta, Rekhi, & Parikh, 2005) (Ramos & Baltazar, 2009).

La granulación es el proceso de formación de granulados, y consiste en la adición de una especie de pegamento a las partículas de polvo; este pegamento es un material “aglutinante”. Algunos aglutinantes comunes son el almidón de maíz, la polivinilpirrolidona (PVP), la metilcelulosa (MC), la hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y la hidroxopropilcelulosa (HPC), así como las gomas naturales como la arábica o el alginato de sodio. Otros agentes que pueden considerarse aglutinantes en ciertas circunstancias son el polietilenglicol (PEG), la etilcelulosa (EC) e incluso las ceras; en muchos casos estas materias se dispersan previamente en agua, etanol o mezclas hidroalcohólicas (Koo, 2017).

Además de mejorar el flujo y aumentar la compresibilidad de los polvos, existen otras razones por las cuales es necesario efectuar un proceso de granulación, de las cuales las más importantes son prevenir la segregación de los componentes de la mezcla de polvos, uniformar el contenido del principio activo en la mezcla (especialmente en dosis bajas), aumentar la densidad de un polvo o modificar la liberación (si el aglutinante es insoluble en medio acuoso).

La granulación puede hacerse por dos vías: la vía seca, mediante la aplicación de una fuerza física, como lo es la provocada por dos rodillos de giro concéntrico, que compactan el material pulverulento que pasa entre ellos, generando pequeños trociscos de mayor tamaño que el polvo original. Imagina los rodillos por los que se imprime el papel periódico de los diarios, pero fabricados con acero grado farmacéutico y con mucha más fuerza de compresión (Ansel, 1989; Aulton, 2004; Lozano, 2012).

Otra vía para la obtención de aglomerados es la vía húmeda, que consiste en asperjar un líquido a la mezcla de polvos con aglutinante mientras están en agitación constante (etapa llamada “amasado”). A esta operación le sigue la del secado del material multiparticulado. Ambos procesos, “vía seca” o “vía

húmeda”, requieren un material aglutinante, y ambos mejoran notablemente el flujo y la manejabilidad de los materiales sólidos multiparticulados. (Mehta et al., 2008).

Existen varios equipos para fabricar granulados. Uno muy eficiente es el granulador de alto corte (GAC), que es una máquina que mezcla con fuerza, humecta y rompe la masa aglomerada hasta formar gránulos bien definidos de tamaño uniforme. El GAC (Figuras 2a y 2b) es un equipo rápido y eficaz para realizar la mezcla y la granulación de polvos farmacéuticos. El recipiente del GAC contiene tres paletas que giran sobre un eje central en el plano horizontal y una cuchilla o *chopper* que gira en el plano vertical con el objetivo de romper la pasta y producir los gránulos. Los resultados de los gránulos dependen de dos factores cruciales: la fórmula (en la que el tipo de aglutinante es muy importante) y la velocidad de mezclado del GAC, misma que determina la fuerza con la que se forman y rompen los gránulos.

Caracterización reológica de polvos y granulados farmacéuticos

Un método moderno para determinar la densidad y el flujo de un material en función de los efectos cohesivos y de la fricción de las partículas es mediante el uso de una celda de corte. Una ventaja significativa de esta metodología es que tiene un mayor grado de control experimental y repetitividad, frente a las sencillas pruebas farmacopeicas de Índice de Compresibilidad (o índice de Carr) y Velocidad de Flujo, que dan información de un solo punto. El equipo *Powder Flow Tester* (PFT) de Brookfield tiene como principio el uso de una celda de corte y calcula un indicador denominado “índice de flujo”, que se obtiene con el valor de la pendiente de la recta entre una fuerza aplicada al granulado (estrés de consolidación) y la respuesta del material ante dicha tensión (denominada fuerza de falla sin confinamiento).

Para medir el tamaño de partícula de un sólido multiparticulado (polvo o granulado), debe considerarse una muestra representativa, que incluya toda la variedad de tamaño de las partículas que componen el material. La distribución de tamaño de partícula (DTP) es una prueba que suele medirse con un método estándar que requiere hacer pasar al polvo o granulado por juego de tamices de varias aperturas; y consiste en graficar en el eje Y el porcentaje de la muestra y en el eje X el tamaño de la partícula.

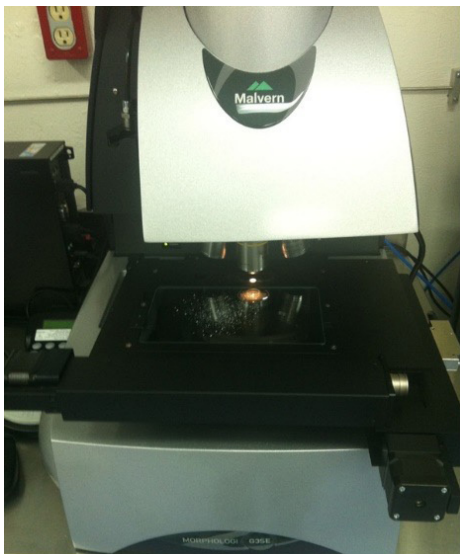


Figura 3. Equipo de análisis automatizado de imagen Morphology G3. Fuente: Laboratorio de Farmacia, UAEMEX.

El valor reportado hace referencia al diámetro de un círculo con la misma área que la imagen proyectada por la partícula. Una tecnología más moderna es la llamada análisis de imagen, que aporta mayor información, ya que toma fotografías de cada una de las decenas de miles de partículas existentes en una muestra, por lo que además de poder medir su tamaño de manera directa, se obtiene información sobre la forma de cada partícula (Malvern, 2015). Además, estos equipos grafican la DTP en dos formas: por volumen y por tamaño de partícula. Esto es importante porque da una información más fina de la composición de un polvo. Imagina una mezcla de un gramo de arena y una canica. Si se hace una DTP por número, la canica no va a distinguirse en la gráfica, pero si se hace una DTP considerando el volumen de los componentes de la mezcla, se verá claramente la presencia de la canica. La Figura 3 muestra el equipo Morphology G3 de Malvern-Panalytical.

El análisis de la morfología particular de los polvos y granulados no es una prueba oficial de las materias primas (o sea que no considerado en las monografías farmacopeicas), pero es recomendable hacerlo para conocer los materiales a fondo. En el rubro de morfología, una de las medidas cuantitativas populares es la circularidad, que indica el grado de similitud de una partícula con un círculo, siendo 1 el valor correspondiente a la forma de partícula completamente circular (1 es un círculo perfecto). En otras palabras, la circularidad es una buena medida de la “desviación de un círculo perfecto”.

Lo que revelaron los gránulos en el laboratorio

El ejemplo que aquí presentamos es la evaluación de la influencia sobre los productos intermedio y final (granulados y tabletas) al utilizar seis diferentes agentes aglutinantes y tres velocidades de agitación, en el equipo GAC. Para la realización de las pruebas se planteó un diseño experimental (DE) multi-factorial multinivel, cuyos resultados se evaluaron estadísticamente con un Análisis de Varianza (ANOVA) en un software Statgraphics Centurion XIV. El DE da como resultado un total de 18 combinaciones (pruebas), en las condiciones siguientes.

A. Velocidades de agitación de las aspas, que son el mecanismo principal de mezclado, y del cortador o chopper, cuya función es eliminar los aglomerados formados. Las configuraciones del equipo fueron las siguientes (tres niveles: alta, media, baja).

- a. Alta = 1000 rpm aspas / 2500 chopper
- b. Media = 750 rpm aspas / 2000 chopper
- c. Baja = 500 rpm aspas / 1500 chopper

Se eligieron dos tipos de aglutinantes más comunes en la industria farmacéutica: la polivinilpirrolidona (PVP) en sus grados K30 y K90, con menor y mayor poder aglutinante (o sea menos y más pegajosos), respectivamente. También se eligieron una hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) de tipo químico 2910 y una Hidroxipropilcelulosa (HPC) de bajas viscosidades (15 cps y 4.5 cps, respectivamente); los derivados de celulosa son comúnmente utilizados para granular y son una alternativa confiable de las PVP. Además, se eligió un polvo coprocesado de almidón de maíz, que es una variante del almidón nativo que tiene poco más de una década en el mercado y cuya ventaja es ser diluyente, aglutinante, desintegrante (para que las tabletas dentro del estómago se rompan o deshagan) y autolubricante (para que no se peguen los polvos en el equipo en donde se compactan para producir las tabletas) en un solo producto; es decir, es multifuncional. Por último, se consideró en el estudio el maltitol, un poliol utilizado como aglutinante, diluyente y edulcorante en la formulación de tabletas oro-dispersables y masticables, para explorar este tipo de materiales utilizados en esos MSO.

1. PVP K30 (Kollidon, Basf)
2. PVP K90 (Kollidon, Basf)
3. Hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) 60-HD-15 (SheffCel, Kerry)
4. Almidón de maíz parcialmente pregelatinizado (Starch 1500, Colorcon)
5. Hidroxipropilcelulosa (HPC) SL-FP (Nisso)
6. Maltitol (SweetPearl, Roquette)

Se prepararon los líquidos aglutinantes a una concentración del 10% en agua destilada, en una proporción del 2% en la mezcla para comprimir, y para agregarla a los polvos secos se usó una pistola de aspersión (muy similar a las que se usan para pintar los automóviles) acoplada al GAC, a una presión de 2 bar y alimentada por una bomba peristáltica Longer modelo Precise BT100-2J (un equipo que “jala” el líquido por una manguera hasta la pistola) a una velocidad de flujo de 10 mL/min. La Tabla 1 muestra las corridas experimentales con estos materiales y las condiciones experimentales empleadas. La fórmula modelo empleada se eligió tomando como base una dosis por tableta del valproato de magnesio de 200 mg y un peso final de 350 mg.

Cada uno de los 18 lotes fabricados fue de un peso de 250 g. Previo al proceso de humectación-granulación, se realizó una mezcla en seco de los componentes a 100 rpm por 2 minutos. Al final del proceso de granulación el producto se hizo pasar por una malla USA no. 20 (algo parecido a una coladera de acero inoxidable de cocina). El granulado obtenido se secó en un horno, en charolas de 40 cm x 30 cm a 60°C durante 90 minutos.

Tabla 1. Combinación de niveles del diseño de experimento.

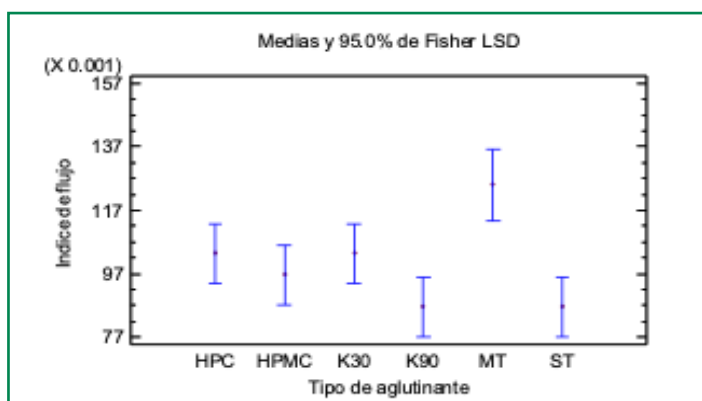
# Experimento	Aglutinante	Velocidad	Codificación
1	HPMC 60-HD-15	Baja	HPMC-B
2	PVP K90	Media	K90-M
3	PVP K30	Media	K30-M
4	HPMC 60-HD-15	Media	HPMC-M
5	HPMC 60-HD-15	Alta	HPMC-A
6	PVP K90	Baja	K90-B
7	HPC SL-FP	Alta	HPC-A
8	Starch I500	Baja	ST-B
9	HPC SL-FP	Baja	HPC-B
10	Starch I500	Alta	ST-A
11	Maltitol	Alta	MT-A
12	PVP K30	Alta	K30-A
13	Maltitol	Media	MT-M
14	Maltitol	Baja	MT-B
15	HPC SL-FP	Media	HPC-M
16	PVP K90	Alta	K90-A
17	PVP K30	Baja	K30-B
18	Starch I500	Media	ST-M

Se evaluaron la distribución de tamaño de partícula (DTP) y la morfología de los granulados por el método de análisis computarizado de imagen en un equipo Morphologi G3 de Malvern, con el objeto de comparar las distribuciones y formas entre lotes de cada uno de los granulados. El análisis se realizó tomando una muestra de 60 mg para cada determinación. Los establecieron 9 categorías de tamaño de partícula: 1-5 micras, 5-10 micras, 10-20 micras, 20-30 micras, 30-40 micras, 40-50 micras, 50-100 micras, 100-200 micras, mayor a 200 micras. Se evaluaron los parámetros de conteo de partículas, diámetro promedio, circularidad promedio y circularidad 90.

Los resultados de flujo y densidad

Todos los granulados fueron clasificados como de libre flujo y fácil flujo, lo que nos indica que no son materiales cohesivos y que todos, con excepción del maltitol granulado en condición de velocidad baja, tienen un flujo adecuado. Como control, se hizo la prueba de flujo al principio activo solo y a la mezcla seca de éste con los excipientes (es decir, sin granular), y se observó que ambos son muy cohesivos. Esto quiere decir que la granulación surtió efectos, pues ayudó a mejorar el flujo de los materiales. Los resultados del análisis ANOVA efectuado para el factor tipo de aglutinante, determinaron que existen diferencias estadísticamente significativas ($p=0.0184$, recuerda que un valor- p debajo de 0.05 indica que hay significancia estadística) entre las medias del maltitol con respecto a los demás aglutinantes, como se observa en la Gráfica 1.

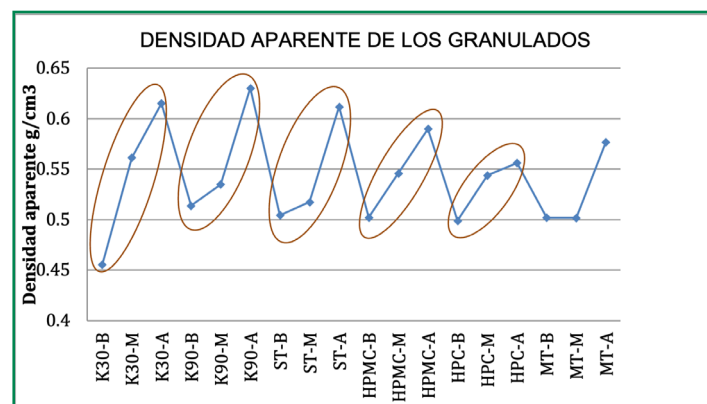
Gráfica 1. Comparación de medias del índice de flujo por tipo de aglutinante.



HPC: hidroxipropilcelulosa; HPMC: hidroxipropilmetilcelulosa; K30: polivinilpirrolidona K30; K90: polivinilpirrolidona K90; MT: maltitol; ST: almidón de maíz parcialmente pregelatinizado.

Respecto a la densidad, encontramos que la velocidad de agitación es el factor que influye más en la densidad aparente de los granulados. La Gráfica 2 muestra los valores de densidad aparente para cada prueba realizada, agrupados por tipo de aglutinante y por velocidad. En ella se observa una tendencia directamente proporcional al aumento de la densidad aparente conforme se incrementa la velocidad de agitación para cada uno de los aglutinantes, excepto para el maltitol. Encontramos que la velocidad de agitación es el único factor determinante para modificar la densidad de los granulados.

Gráfica 2. Densidad aparente de los granulados según los niveles o concentraciones de aglutinante: A = alto, M = medio; B = bajo.

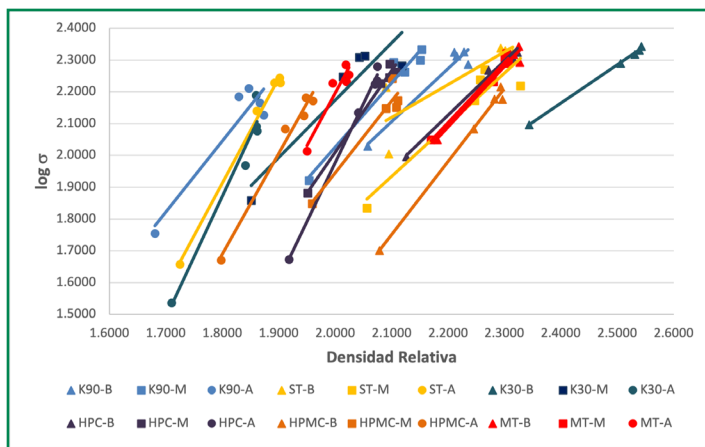


Resultados de forma y tamaño particular

Con respecto al análisis de forma, la Tabla 2 muestra los valores de diámetro y circularidad promedio de todos los granulados. Aunque los valores de diámetro promedio de las partículas van desde los 9.63 hasta los 25.3 micrómetros, en esta variación no existe una diferencia estadísticamente significativa entre tipos de aglutinantes ($p=0.3071$).

Tabla 2. Propiedades promedio de la forma y tamaño de los granulados.

Codificación	Diámetro promedio (µm)	Circularidad promedio
HPMC-A	17.05	0.718
HPMC-M	17.82	0.726
HPMC-B	11.61	0.726
K90-A	9.63	0.734
K90-M	10.44	0.713
K90-B	17.62	0.721
HPC-A	14.25	0.747
HPC-M	17.26	0.737
HPC-B	25.3	0.730
ST-A	13.49	0.744
ST-M	15.04	0.683
ST-B	9.68	0.752
K30-A	12.19	0.741
K30-M	16.98	0.718
K30-B	15.11	0.688
MT-A	19.33	0.740
MT-M	20.23	0.716
MT-B	13.72	0.691



Gráfica 3. Curvas de compactabilidad linealizadas para tabletas de los granulados de los 18 lotes fabricados.

métodos ya reportados (Samayoa-Sandoval & Villafuerte-Robles, 2013). Lo que vemos en la Gráfica 3 (fíjate que cada color describe un aglutinante) es que cada material tiene su propia curva de compactación.

Todas las tabletas obtuvieron durezas adecuadas, pero los tiempos de desintegración variaron según el aglutinante empleado (aquí no mostramos los resultados, pero todos los tiempos de desintegración fueron los que marca la Farmacopea para tabletas de valproato de magnesio).

Granular para curar: el valor de lo invisible

Como conclusión general podemos decir que la granulación es una operación unitaria farmacéutica que mejora el flujo de los polvos. Evaluar el flujo de los materiales pulverulentos aporta información relevante para el desempeño farmacotécnico y saber si un material es apto para ser comprimido y formar tabletas. El GAC es un equipo robusto para fabricar granulados y mejorar la respuesta de salida de flujo. En este trabajo, observamos que todos los granulados obtenidos mejoraron sustancialmente el flujo, comparado con el valor del valproato de magnesio solo, que es un polvo muy cohesivo.

Los resultados también muestran que pequeños cambios en los ingredientes o en el proceso pueden modificar completamente el producto final. La medicina moderna está hecha de grandes avances, pero en el día a día de un laboratorio farmacéutico, decisiones pequeñas como elegir el mejor aglutinante o ajustar la velocidad de mezclado determinan la calidad de los medicamentos. Granular es mucho más que mezclar partículas: es comprender que detrás de cada tableta hay ciencia, precisión y cuidado.

Para ver el trabajo completo entra a:

<http://hdl.handle.net/20.500.11799/105031>

Observaron porcentajes de “finos” (partículas muy pequeñas, de 1 a 5 micrómetros) entre el 30% y el 70% para todos los lotes evaluados en la prueba de DTP por número; también constatamos que en todos los lotes el porcentaje de partículas mayores a 200 micrómetros es menor del 2%. Sin embargo, graficando los datos de DTP por volumen (recuerden lo explicado arriba sobre la canica), los finos ocupan espacios muy pequeños (casi despreciables) y los gruesos ocupan volúmenes sustanciales.

Los valores de circularidad promedio obtenidos están cerca del 0.7 para todos los lotes, o sea que se parecen a un círculo en un 70%. Por último, para la prueba de circularidad verificamos, mediante un diagrama de Pareto estandarizado, que el aglutinante es el único factor determinante para esta variable de respuesta.

Del gránulo a la tableta: resultados de las tabletas

Para conocer qué impacto tienen los distintos granulados en las tabletas, se evaluaron la dureza, compactabilidad y tiempo de desintegración de los núcleos de valproato de magnesio fabricados con los distintos granulados.

La Gráfica 3 muestra las curvas de compactabilidad linealizadas calculadas a partir del logaritmo de la fuerza tensil (σ) (la fuerza necesaria para comprimir los granulados hasta hacerlos tabletas) contra la densidad relativa de las tabletas, la cual se calculó a su vez a partir de la densidad de éstas obtenida a cada presión de compactación dividida por la densidad de las materias primas, con

Referencias bibliográficas

1. Acevedo, C., C. M., Manuel, C., & Roberto, C. (2008). Informe sobre la Epilepsia en Latinoamérica. *Organización Panamericana de La Salud*.
2. Ansel, H. C., Popovich, N. G., & Allen, L. V. (1989). Ansel's Pharmaceutical Dosage Forms and Drug Delivery Systems. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 9, 160. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
3. Aulton, M. E. (2004). *Farmacología: la ciencia del diseño de las formas farmacéuticas*. España: Elsevier. Recuperado de: <https://books.google.com/books?id=r5klfvGCI7C&pgis=1>
4. Brookfield, A. (n.d.). *Brookfield Powder Flow Tester, Operating instructions* (Vol. 8139). Retrieved from <http://www.brookfieldengineering.com>
5. Koo, O. M. Y. (2017). *Pharmaceutical Excipients: properties, functionality, and applications in research and industry* (1st ed.). Wiley.
6. Lozano, M. del C., Córdoba, D., & Córdoba, M. (2012). *Manual de Tecnología Farmacéutica* (1a ed.). España: Elsevier.
7. Malvern. (2015). *Morphologi G3 User Manual*.
8. Mehta, K. A., Rekhi, G. S., & Parikh, D. M. (2005). *Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology. Handbook of Pharmaceutical Granulation Technology* (Second Ed.). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9780849354953.ch17>
9. Organización Mundial de la Salud. (2018). Epilepsia. Retrieved from <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/epilepsy>
10. Alcantara, T. & Ortiz-Reynoso, M. (2016). Impacto de la variación del lote en la disolución intrínseca de un fármaco. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 47, 145.
11. Ramos, M. del S. L., & Baltazar, E. H. (2009). *Formas Farmacéuticas Sólidas* (Segunda Ed). Ciudad de México: Universidad Nacional Autónoma de México.
12. Secretaría de Salud. (2014). *Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos* (11a Edición). México: Comisión Permanente de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos.

Consulta nuestro nuevo número
Vol. 70 No. 1 (2026)

JOURNAL of the MEXICAN CHEMICAL SOCIETY
(J. Mex. Chem. Soc.)
Former Revista de la Sociedad Química de México (Rev. Soc. Quím. Mex.)

Journal of the Mexican Chemical Society (J. Mex. Chem. Soc.) is a scientific, blind, peer-reviewed, open-access publication covering all areas of chemistry and its sub-disciplines (i.e. medicinal chemistry, natural products, electrochemistry, material science, computational chemistry, organic chemistry, bioorganic chemistry, etc.). It is devoted to facilitating the worldwide advancement of understanding of chemistry. It will primarily publish original contributions of research in all branches of the theory and practice of chemistry in its broadest context, as well as critical reviews in areas of chemical research where the author has published significant contributions.

From February 2026, the J. Mex. Chem. Soc. (JMCS) operates as a Scientific Continuous Publication (CP). In which the language of submission and publication is English. To be suitable for publication in J. Mex. Chem. Soc., manuscripts must describe novel aspects of chemistry, high-quality results, and discussion, with excellent bibliographic support, and contribute to the development of the field. Incremental or non-incremental work is not suitable for publication in J. Mex. Chem. Soc. Authors are encouraged to send contributions in electronic form. Our online submission system (OJS) guides you through the process of entering your article details and uploading your files to the journal's platform.

Processing Charges (APCs): From February 2026, the J. Mex. Chem. Soc. will charge upon acceptance the amount of \$5,250.00 MXN or \$3,150.00 MXN (to SQM active members) only for authors received from January 1st 2026 onwards. Accepted submissions received during 2025 will not be charged according to the 2025 guidelines.

Special Issues: In 2026, the J. Mex. Chem. Soc. will neither publish nor accept applications for Special Issues until further notice.

<https://www.jmcs.org.mx>



De Lieja a Saltillo: la calcinadora de zinc y el desarrollo de una industria (1912–1948)

Martín Caldera-Villalobos*

Resumen

Este artículo analiza el desarrollo de la industria metalúrgica del zinc en Saltillo entre 1912 y 1948, centrado en la empresa *International Ore and Smelting Company* y su posterior transformación en La Calcinadora, S.A. A partir de fuentes del Archivo Municipal de Saltillo y la Hemeroteca Nacional Digital de México, se reconstruye la instalación de la planta, la introducción de tecnología europea y la producción inicial de zinc en lingotes. Asimismo, se examinan las redes de suministro de mineral, los procesos pirometalúrgicos empleados y las dificultades que llevaron a su declive. El estudio destaca su relevancia en la industrialización regional y la historia de la metalurgia en México.

Palabras clave: Zinc, metalurgia, industrialización

Abstract

This article examines the development of the zinc metallurgical industry in Saltillo between 1912 and 1948, focusing on the *International Ore and Smelting Company* and its later transformation into La Calcinadora, S.A. Drawing on sources from the Municipal Archive of Saltillo and the National Digital Newspaper Archive of Mexico, it reconstructs the establishment of the plant, the introduction of European technology, and the initial production of zinc ingots. It also explores mineral supply networks, pyrometallurgical processes, and the challenges that led to its decline, highlighting its importance in regional industrialization and the history of metallurgy in Mexico.

Keywords: Zinc, metallurgy, industrialization

Introducción

Hasta el siglo XVIII, el zinc era un metal desconocido en Europa. El primer contacto de las sociedades europeas con este material fue a través de los lingotes importados de China, lugar donde se habían desarrollado técnicas metalúrgicas más avanzadas. A pesar de que los occidentales producían latón (aleación de cobre y zinc) desde la época preclásica, no se tenía conocimiento preciso de los procesos químicos involucrados en su obtención. Por este motivo, los latones producidos variaban enormemente en composición y propiedades.¹ En 1746, Margraff aisló por primera vez el zinc a partir de la calamina y sentó las bases para la revolución metalúrgica en Europa, la cual implementó procesos pirometalúrgicos como la calcinación, la tostación y la reducción con carbón.²

1. Antonio Luis Marqués Sierra, "Tratamiento Metalúrgico de Calaminas Antes Del Descubrimiento Científico Del Zinc Metal," *De Re Metallica* 31 (2018): 15–24.

2. Antonio Luis Marqués Sierra, "Apuntes Históricos Sobre La Metalurgia Del Zinc," *De Re Metallica* 31 (2018): 99–114.

* Universidad Americana del Noreste.
caldera_martin@hotmail.com

En los años posteriores, se realizaron diversas mejoras en los hornos utilizados para la fusión. Sin embargo, no se produjo una evolución homogénea en tales hornos. Esto dio origen a tecnologías bien diferenciadas que se identificaron por su país de origen. De este modo, se popularizaron términos como horno alemán, horno inglés, horno francés, horno belga, etc. Fue justamente en Bélgica donde se desarrolló la tecnología que más tarde sería importada a Saltillo.

En este artículo se aborda el desarrollo de la industria metalúrgica del zinc en la ciudad de Saltillo, entre los años de 1912 y 1948. El contenido de este trabajo es resultado de una investigación sustentada en fuentes primarias localizadas en el Archivo Municipal de Saltillo (AMS). También, se consultaron algunas fuentes ubicadas en la Hemeroteca Nacional Digital de México (HNDM). El estudio de este capítulo de la historia resulta importante para el entendimiento de la historia de la ciudad de Saltillo, así como para la historia de la minería y la metalurgia en México y para la historia de la ciencia en nuestro país.

La *International Ore and Smelting Company*

La *International Ore and Smelting Company, S.A.*, se estableció en Saltillo a través de un contrato celebrado el 25 de marzo de 1912 por el Gobernador Constitucional del Estado, C. Venustiano Carranza (1859-1920) y aprobado por el XXII Congreso Constitucional el 12 de abril del mismo año. En él, se autorizó el establecimiento de una planta en el noroeste de la ciudad para transformar en óxidos los minerales de zinc destinados a la exportación.^{3,4} En dicho contrato la empresa se comprometió a instalar al menos dos hornos con capacidad de producción de 25 toneladas diarias de este metal.⁵

El 25 de septiembre de 1919, Francisco Ernesto Salas, Gerente General de la *International Ore and Smelting Co.*, ubicada en Saltillo, Coah., envió una carta dirigida al presidente y miembros del H. Ayuntamiento donde se lee lo siguiente:

Tenemos el gusto de informar a Uds. que con fecha 12 de Agosto ppdo., fue reorganizada en Lieja, Bélgica la *International Ore Co., S.A.*, desapareciendo dicha Compañía y quedando nosotros a cargo de su Activo y Pasivo.

Nos es grato al mismo tiempo comunicarle, que hemos celebrado contratos con la *Compagnie Metallurgique Franco-Belge de Mortagne, S.A.* y con la *Société Royale Asturiange des Mines* para establecer un servicio de vapores entre Tampico y Amberes.

3. AMS, PM, c 171, L 8, e 80, 2 ff.

4. "Sesión del día 12 de Abril de 1912," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 11 de mayo de 1912, p.2.

5. "Contrato," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 17 de abril de 1912, p.1.

Dichas compañías se proponen comprar en México con nuestro concurso técnico, los minerales de zinc, carbonatos y sulfuros que necesitan para sus fundiciones en Bélgica y Francia.

Acaba de llegar a esta Ciudad un grupo de Ingenieros y obreros, especialistas en la fabricación de zinc y hemos ya reanudado con toda actividad los trabajos para concluir nuestra Fundición que principiará en breve a producir zinc en lingotes.⁶

Quizá, este fue el primer paso en el camino de convertir esta empresa extranjera en una empresa nacional. Aunque dicha transición se concretó años después. Sobre F. E. Salas, sabemos que nació en Saltillo en mayo de 1884, hijo del comerciante Daniel Salas y de Luisa López. Realizó los estudios preparatorios en el Ateneo Fuente y después se trasladó a Bélgica donde estudió la carrera de Ingeniería en Máquinas y Fundición. Durante su estancia conoció a Margarita María Loyens Jurgens, con quien contrajo matrimonio en 1909. En Bélgica, trabajó como ingeniero para la *Internacional Ore Co. S.A.*, y en 1911 regresó a Saltillo como representante de la empresa para instalar una calcinadora de minerales, recibiendo enormes facilidades por parte del Gobernador Venustiano Carranza.⁷

El 13 de octubre de 1919, el Gerente de la *Internacional Ore and Smelting Co.*, escribió una carta al presidente y miembros del Ayuntamiento de Saltillo.

Tenemos la satisfacción de participar a Uds. que ayer a las 10 P.M. fue fundido en nuestra Planta Metalúrgica el primer lingote de zinc que ha sido fabricado en la América Latina.

Este acontecimiento es de gran trascendencia pues significa el nacimiento de una industria llamada a desarrollar enormemente nuestras riquezas nacionales.

Aunque al presente solo tenemos un pequeño horno de fundición que no es sino un horno de ensaye, podemos ya cubrir todo el consumo de metal de zinc de la República y en dos meses más esperamos poner en marcha dos grandes hornos que producirán 10 toneladas de lingotes de zinc diarias y que formarán la primera unidad de la gran Fundición que nos proponemos establecer en esta ciudad.

Vamos a tener el gusto de enviar a ese H. Ayuntamiento, un pequeño lingote de zinc como recuerdo del nacimiento de esta nueva industria.⁸

Esta carta fue respondida brevemente con una felicitación el 17 de octubre del mismo año. Tal logro debió ser un todo un suceso en una ciudad que recién comenzaba su industrialización. Durante la década de 1920, la actividad industrial de Saltillo era incipiente y constaba apenas de una fábrica de hielo y embotelladora, una fábrica de plomo, un molino de trigo, una textilera y una fundición dedicada a la fabricación de máquinas.⁹

6. AMS, PM, c162, L4, e161, 1f.

7. "Relatos y Retratos de Saltillo: El Chalet de La Alameda," Vanguardia. Acceso el 26 de marzo de 2024. <https://vanguardia.com.mx/coahuila/saltillo/relatos-y-retratos-de-saltillo-el-chalet-de-la-alameda-POVG3537686>.

8. AMS, PM, c162, L4, e171, 1f.

9. Mario Dávila Flores, El Proceso de Industrialización de La Región Sur de Coahuila (Saltillo, Coah.: Universidad Autónoma de Coahuila, 1986).

En el margen del documento antes referido, se indica que la compañía contaba con dos oficinas. Una central en 23 Rue Fabry, en Lieja, Bélgica y otra en la Calle Victoria, número 85, en Saltillo, Coahuila.

Coahuila es un territorio rico en minerales y durante el siglo XIX se descubrieron importantes yacimientos de minerales metálicos y no metálicos que permitieron el florecimiento de la industria minera en el estado. Sin embargo, la *International Ore and Smelting* parecía traer su materia prima de otras partes de la República, como los Estados de Jalisco y Chihuahua. El 22 de septiembre de 1923, Daniel S. Montañón radicado en Ciudad Guzmán, Jalisco, escribió una carta al presidente municipal de Saltillo donde decía:

Estoy haciendo remesas de mineral de zinc a The International Ore and Smelting Co., de esa ciudad y como me es de absoluta necesidad de que algún ensayador de metales me represente en los muestreos, sin que tenga yo alguna persona de confianza a quien dirigirme, me permito molestar a usted rogándole atentamente me haga el servicio de informarme a que ensayadores de esa ciudad podría yo conferir la representación que me propongo.¹⁰

Además, el 15 de julio de 1926, el Gerente General de la *International Ore and Smelting*, se dirigió al presidente municipal en una carta:

Por la presente nos permitimos poner en su conocimiento que deseamos mandar a Baca, Chih., estación más cercana a la Mina Cigarrero que explotamos, veintidós hombres con sus respectivas familias, las que se dedicarán a trabajos mineros.

Mucho estimaremos a Ud. ordenar se expida una notificación a quien corresponda haciendo constar que esta gente va a prestar sus servicios en la explotación de la Mina aludida, con objeto de que no tengan detenciones en el trayecto.¹¹

Ambos documentos nos muestran que efectivamente los minerales de zinc eran traídos de regiones fuera del territorio coahuilense pero aún desconocemos si alguno de los productores locales proporcionó el mineral necesario para la fundición. Para dar algunos ejemplos, en el año de 1912, mismo en que se estableció la *International Ore and Smelting Co.*, se solicitaron varias licencias para explotar yacimientos con minerales de zinc en los municipios de Saltillo,¹² Ramos Arizpe,¹³ Monclova,¹⁴ Sierra Mojada¹⁵ y Cuatro Ciénegas.¹⁶ Para estas fechas, las oficinas de la empresa habían cambiado su ubicación al número 9 de la calle Cuauhtémoc. Según los datos de contacto telefónico presentes en el membrete, la empresa ya contaba con cuatro departamentos: Minas, Minerales, Fundición y Caja.

10. AMS, PM, c166-1, L4, e186, 1f.

11. AMS, PM, c169, L2, e19, 1f.

12. "Extracto," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 27 de marzo de 1912, p.3.

13. "Extracto," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 10 de abril de 1912, p.6.

14. "Expediente Número 945," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 27 de marzo de 1912, p.4.

15. "Expediente Núm. 561," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 16 de marzo de 1912, p.6.

16. "Expediente Núm. 447," *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 4 de mayo de 1912, p.4.

Desafortunadamente, en el AMS no existen fuentes que nos proporcionen información sobre el proceso realizado al interior de la empresa. Sin embargo, con los datos recopilados hasta el momento, podemos hacer algunas inferencias. Primero, que los hornos utilizados seguramente fueron de tipo liejés belga. Segundo, que los procesos para enriquecer la mena debieron haber sido de tostación o calcinación, por ser los procedimientos pirometalúrgicos más usados en la época. El proceso de calcinación se aplica a los minerales de carbonatos y tiene por objeto transformarlos en óxido de zinc para enriquecer la mena y hacerla más porosa y así facilitar la reducción posterior. La tostación se aplica en los minerales en forma de sulfuros convirtiéndolos en óxidos y sulfatos. Ambas operaciones deben realizarse a bajas temperaturas para evitar la evaporación del zinc.¹⁷ Considere que las temperaturas de fusión y de ebullición de este metal son 420 y 907 °C, respectivamente. Las ecuaciones correspondientes a los diferentes procesos pirometalúrgicos aplicados al zinc se muestran a continuación:

- 1) Calcinación: $\text{ZnCO}_3 \rightarrow \text{ZnO} + \text{CO}_2$
- 2) Tostación: $2\text{ZnS} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{ZnO} + 2\text{SO}_2$
- 3) Reducción: $2\text{ZnO} + \text{C} \rightarrow 2\text{Zn} + \text{CO}_2$

El 26 de agosto de 1928, el XXVI Congreso del Estado emitió un decreto donde aprobaba el traspaso de la *International Ore and Smelting Co.*, a la Compañía “La Calcinadora, S.A.”.¹⁸ En un documento encontrado en la HNDM se indica que las instalaciones de La Calcinadora se ubicaban en la Prolongación Emilio Carranza manzana 475-A.¹⁹ Desafortunadamente, el destino de la empresa no fue floreciente en los años posteriores. El 23 de abril de 1931, R. Reyna Gerente de la Cía. “La Calcinadora, S.A.” escribió una carta al presidente municipal donde mostraba una transcripción de una carta enviada por sus agentes de seguros (“La Yorkshire”) donde se lee:

Con objeto de llenar el requisito indispensable en caso de reducción de cuotas por la paralización de las Plantas, sírvase pedir a su cliente un Certificado de la Autoridad respectiva (el Presidente Municipal), de que los trabajos de esa Planta están suspendidos hace más de un año, y manifestando en dicho certificado que no hay existencias de materias primas ni de productos manufacturados en dicha planta, y que la corriente eléctrica para moverla ha sido cortada.²⁰

A esto agregó R. Reyna: “Como efectivamente las Plantas de esta Cía. La Calcinadora, S.A. están paradas desde hace un año, agradeceríamos a Ud. se sirviera extender el Certificado de referencia, el cual consideramos desde luego de mucha utilidad para nosotros.”²¹ Las fuentes disponibles no nos permiten saber que pasó durante los 17 años que transcurrieron después y nos llevan al momento de la desaparición de esta empresa. En 1948, “La Calcinadora” se puso en liquidación y se convocó a los accionistas

17. Marqués Sierra, “Apuntes Históricos Sobre La Metalurgia Del Zinc,” 99–114.

18. AMS, PM, c 171, L 8, e 80, 2 ff.

19. “La Junta Regional del Catastro del Municipio de SALTILLO en Sesión de fecha 2 de Junio de 1944, acordó fijar a los Predios Urbanos que a continuación se expresan, los siguientes valores,” *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 17 de junio de 1944, p. 10. Actualmente, estos terrenos corresponden a la Colonia Universidad sobre el Blvd. Isidro López Zertuche.

20. AMS, PM, c 174-3, L 21, e 185, 1 f.

21. AMS, PM, c 174-3, L 21, e 185, 1 f.

a una asamblea en la casa número 97 de la calle de Liverpool en la Ciudad de México, el día 10 de septiembre de 1948.²² Finalmente, las instalaciones de la metalúrgica fueron demolidas y los terrenos fueron ocupados por la empresa “Fibras del Norte, S.A.”²³

Conclusiones

A través de este texto hemos realizado un vistazo interesante a la historia de la industria del zinc en Saltillo y su impacto en la economía y desarrollo industrial de la región. Sin embargo, aún faltan detalles y datos adicionales que nos permitan tener una visión completa de todo el proceso. Algunos de los hechos más relevantes en esta historia son: 1) la introducción del zinc en Europa y su posterior aislamiento por Margraff en 1746. 2) el establecimiento de la *International Ore and Smelting Company* en Saltillo con el objetivo transformar minerales de zinc en óxidos destinados a la exportación. 3) el desarrollo de la industria metalúrgica del zinc en Saltillo. 4) La transición de empresa extranjera a empresa nacional, aunque sin lograr trascender en el tiempo y 5) su declive y desaparición. A pesar de haber tenido un inicio prometedor, la industria metalúrgica del zinc en Saltillo sufrió dificultades que llevaron a la liquidación de “La Calcinadora, S.A.” y su cierre definitivo. Sin duda, conocer la historia de cómo llegaron tecnologías revolucionarias como la metalurgia del zinc a nuestro país revela episodios que pueden llenarnos de emoción e inspirarnos a vivir el desarrollo de la ciencia día a día, como si de una gran aventura se tratase.

FUENTES

Fuentes documentales

1. Archivo Municipal de Saltillo (AMS), Saltillo, Coahuila.
2. Hemeroteca Nacional Digital de México (HNDM), Ciudad de México.

Hemerografía

1. “Contrato.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 17 de abril de 1912, p.1.
2. “Declaratoria. Fibras del Norte, S.A.” *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 5 de junio de 1948, p.2.
3. “Expediente Núm. 447.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 4 de mayo de 1912, p.4.
4. “Expediente Núm. 561.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 16 de marzo de 1912, p.6.
5. “Expediente Número 945.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 27 de marzo de 1912, p.4
6. “Extracto.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 10 de abril de 1912, p.6.
7. “Extracto.” *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 27 de marzo de 1912, p.3.

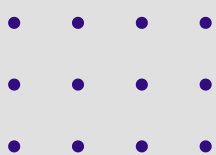
22. “La Calcinadora, S.A. en liquidación,” *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 1 de septiembre de 1948, p. 4.

23. “Declaratoria. Fibras del Norte, S.A.” *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 5 de junio de 1948, p. 2.

8. "La Calcinadora, S.A. en liquidación." *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 1 de septiembre de 1948, p. 4.
9. "La Junta Regional del Catastro del Municipio de SALTILLO en Sesión de fecha 2 de Junio de 1944, acordó fijar a los Predios Urbanos que a continuación se expresan, los siguientes valores:" *Periódico Oficial Órgano del Gobierno Constitucional del Estado Independiente, Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 17 de junio de 1944, p. 10.
10. "Sesión del día 12 de Abril de 1912." *Periódico Oficial del Gobierno del Estado Libre y Soberano de Coahuila de Zaragoza*, 11 de mayo de 1912, p.2.

Bibliografía

1. Dávila Flores, Mario. *El Proceso de Industrialización de La Región Sur de Coahuila*. Saltillo: Universidad Autónoma de Coahuila, 1986.
2. Marqués Sierra, Antonio Luis. "Apuntes Históricos Sobre La Metalurgia Del Zinc." *De Re Metallica* 31 (2018): 99–114.
3. Marqués Sierra, Antonio Luis. "Tratamiento Metarúrgico de Calaminas Antes Del Descubrimiento Científico Del Zinc Metal." *De Re Metallica* 31 (2018): 15–24.
4. Vanguardia. "Relatos y Retratos de Saltillo: El Chalet de La Alameda." Acceso el 26 de marzo de 2024. <https://vanguardia.com.mx/coahuila/salttillo/relatos-y-retratos-de-salttillo-el-chalet-de-la-alameda-POVG3537686>.



CURSO-TALLER



LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA ENSEÑANZA DE LA QUÍMICA

29-30 JUNIO | 1-3 julio



MODALIDAD HÍBRIDA | ZOOM | SEDES POR CONFIRMAR

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



Etilenglicol: una mirada al anticongelante para automóviles

Jesús Alonso Cruz Valdez^{1*}, Valvanuz Cahuantzi², Rosalba Patiño-Herrera², Elías Pérez³, Daniel Montalvo⁴

Resumen

El etilenglicol es un compuesto orgánico catalogado como “prácticamente no tóxico” para los organismos acuáticos, el cual tiene diversas rutas de producción dependiendo de la materia prima disponible. Así mismo, debido a sus propiedades fisicoquímicas, tiene una amplia variedad de aplicaciones; desde su uso como anticongelante para automóviles, hasta su disposición como solvente en el diseño de procesos de purificación de hidrocarburos. Estas cualidades lo convierten en uno de los productos petroquímicos de mayor valor agregado en el mercado internacional.

Palabras clave: etilenglicol, producción, propiedades, anticongelante, solvente.

Introducción

Los dioles, también conocidos como glicoles, son compuestos orgánicos que tienen dos grupos hidroxilos (-OH) en su molécula. Un diol vecinal tiene ambos grupos hidroxilo unidos a átomos adyacentes, es decir, ubicados uno al lado del otro en su estructura molecular. En la Figura 1 se muestra la estructura molecular del etilenglicol, también conocido como 1,2-etanodiol, el cual, al ser una molécula con sólo dos átomos de carbono, es el más simple de los dioles. En 1859, Charles-Adolphe Wurtz, un químico de origen francés, sintetizó por primera vez el etilenglicol mediante una reacción de doble saponificación, haciendo reaccionar un éster (diacetato de etilenglicol) con hidróxido de potasio (Yue et al., 2012). Al principio, la producción del etilenglicol se realizaba a pequeña escala, pero al reconocerse sus diversas aplicaciones, adquirió mayor importancia en la fabricación de explosivos y en la producción de refrigerantes durante la Primera Guerra Mundial (Yue et al., 2012).

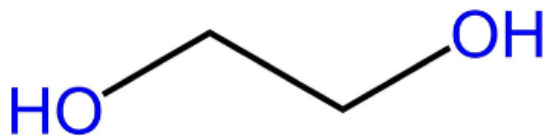


Figura 1. Estructura molecular del etilenglicol. Fuente: elaboración propia.

En los últimos años, el etilenglicol ha presentado un incremento considerable en su producción y consumo, dado que es considerado como uno de los principales compuestos orgánicos en las industrias energéticas, químicas, textiles, automotrices y de transporte y en la generación de nuevas tecnologías (Yue et al., 2012), especialmente siendo materia prima para la producción de poliéster y anticongelantes (Wei et al., 2018). Debido a que la demanda de poliéster ha incrementado año con año como consecuencia de su versatilidad de aplicaciones, la capacidad de producción del etilenglicol ha aumentado simultáneamente (Yang et al., 2020). En el 2007, el consumo global de etilenglicol fue de 18.27 millones de toneladas métricas, alcanzando las 26.66 millones de toneladas en el 2016 (Dong et al., 2016). En la última década, la tasa de crecimiento promedio del consumo global de etilenglicol ha sido superior al 45.90%. China destaca por tener la tasa de crecimiento del consumo más rápida, siendo aproximadamente del 98,03 % (Zhao et al., 2017). Por lo tanto, China representa más del 50% del consumo global de etilenglicol (Yang et al., 2020).

¿Cómo se produce el etilenglicol?

Dependiendo de la disposición de materia prima, logística, políticas socioambientales, reducción del costo de inversión y aumento del rendimiento de producción, existen diversas metodologías para la síntesis de etilenglicol. Entre ellas, se destacan las que tienen como materia prima petróleo crudo, carbón, gas natural y biodiésel.

Hidratación de óxido de etileno

La Figura 2 muestra la ruta tradicional para la producción de etilenglicol propuesta por la Union Carbide Corporation (UCC, por sus siglas en inglés). Esta ruta comienza con la extracción de petróleo crudo del subsuelo, del cual, al utilizarse destilación fraccionada, se obtiene etano como materia prima. El etano es alimentado en un horno de craqueo térmico, en donde las elevadas temperaturas y presiones de operación provocan que el etano se quiebre, favoreciendo la unión de dos átomos de hidrógeno y la formación de un doble enlace químico que une los dos átomos de carbono, dando así origen al etileno (I). Posteriormente, el etileno es oxidado, produciendo óxido de etileno (II). Finalmente, el óxido de etileno es hidratado y de esta forma es producido el etilenglicol (III).

Hidrogenación de glicolato de metilo

Debido al incremento progresivo en la demanda de etilenglicol, el uso de gas de síntesis (*syngas*, en inglés) como materia prima ha ganado importancia en los últimos años. En China, la producción de etilenglicol a partir de *syngas* ha incrementado de

¹División de ingeniería química, Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos

²Departamento de ingeniería química, Tecnológico Nacional de México en Celaya

³Instituto de Física, Universidad Autónoma de San Luis Potosí

⁴División de ingeniería bioquímica, Instituto Tecnológico Superior de Coatzacoalcos

*jcruzv@itesco.edu.mx

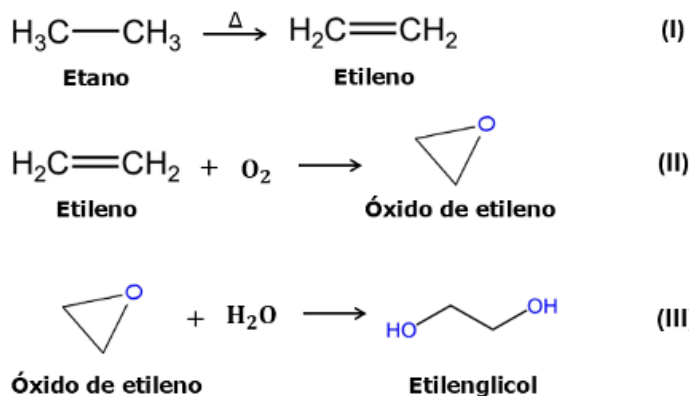


Figura 2. Ruta tradicional para la producción de etilenglicol vía hidratación de óxido de etileno. Fuente: elaboración propia.

cero a más de 3.5 millones de toneladas métricas por año, entre 2011 y 2018 (Tremblay, 2019). El *syngas* es obtenido mediante la gasificación de carbón a elevadas temperaturas, produciendo una mezcla gaseosa con elevadas concentraciones de monóxido de carbono (CO) e hidrógeno (H₂). En la Figura 3 se muestra la ruta de producción de etilenglicol a partir de la hidrogenación de glicolato de metilo. Primeramente, se realiza la reacción de carbonilación oxidativa de metanol con oxígeno y CO para la producción de dimetil oxalato (DMO) (I). Posteriormente, se obtiene glicolato de metilo (GM), a partir de la hidrogenación de DMO (II). Finalmente, el GM es hidrogenado para la producción de etilenglicol (III).

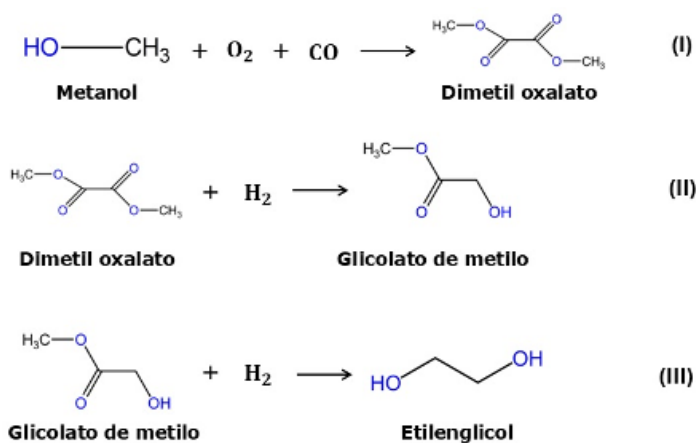


Figura 3. Ruta *syngas* para la producción de etilenglicol vía hidrogenación de glicolato de metilo. Fuente: elaboración propia.

Hidrogenólisis de glicerol

Ante la relación directa entre las emisiones de CO₂ y el calentamiento global, en los últimos años se ha enfatizado la transición desde combustibles fósiles a biocombustibles obtenidos a partir de biomasa. El biodiésel es un biocombustible típicamente producido a partir de la transesterificación de aceites vegetales, grasas animales, y demás residuos orgánicos (Kandasamy et al., 2019). La eficiencia de producción del biodiésel es dependiente, en gran medida, del manejo de sus bioproductos. El glicerol es el mayor bioproducto del biodiésel (aproximadamente un 10% en peso), y del cual se tuvo una demanda global de 10 billones de litros en 2020 (Kandasamy et al., 2019). La reacción de hidrogenólisis del glicerol es ampliamente utilizada en la industria química. En

esta reacción, debido a la ruptura de un enlace carbono-oxígeno en la molécula del glicerol, y a la adición simultánea de átomos de hidrógeno, se obtienen 1,2-propanodiol, 1,3-propanodiol y etilenglicol como productos de alto valor agregado (Kandasamy et al., 2019). En la Figura 4 se muestra la reacción de hidrogenólisis de glicerol para la obtención de etilenglicol como producto principal y metanol como subproducto (Yue et al., 2012).

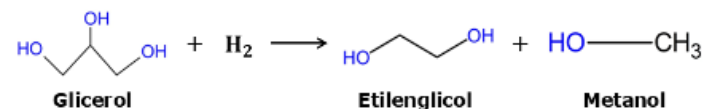


Figura 4. Ruta verde para la producción de etilenglicol vía hidrogenólisis de glicerol. Fuente: elaboración propia.

Propiedades fisicoquímicas y toxicidad del etilenglicol

A temperatura ambiente, el etilenglicol es un líquido inodoro, incoloro, con baja volatilidad y viscosidad (Yue et al., 2012). Además tiene características higroscópicas, por lo que tiene la capacidad de absorber la humedad de su entorno. Debido a su elevada polaridad, es completamente miscible con solventes polares (por ejemplo, agua, alcoholes, éteres glicólicos y acetona) y ligeramente miscible con hidrocarburos no polares (por ejemplo, benceno, tolueno y ciclohexano), por lo cual el etilenglicol puede ser utilizado en procesos de extracción. Adicionalmente, su viscosidad aumenta cuando se enfría y cuando se subenfía, se solidifica completamente, dando como resultado una sustancia similar al vidrio (Yue et al., 2012). En la Tabla 1 se enlistan propiedades fisicoquímicas adicionales.

Tabla 1. Propiedades fisicoquímicas del etilenglicol. Fuente: Yue et al. (2012).

Fórmula química	
Peso molecular, [g/mol]	62.1
Temperatura de fusión, [°C]	-13.0
Temperatura de ebullición, [°C]	197.6
Temperatura de auto ignición, [°C]	427.0
Densidad, [g/cm ³]	1.113 @ 20 °C
Viscosidad, [Pas]	19.8x10 ⁻³ @ 20 °C
Capacidad calorífica, [J/mol°C]	149.5 @ 25 °C
Entalpía de formación, [kJ/mol]	-458.7 @ 25 °C

La toxicidad biológica de los compuestos químicos tiene una relación directa con la preservación de microorganismos en ecosistemas acuáticos (Cruz Valdez et al., 2024). De acuerdo con el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Sustancias Químicas (GHS, por sus siglas en inglés), la toxicidad de los compuestos químicos puede ser categorizada en cuatro niveles, de acuerdo con su impacto adverso en peces, invertebrados acuáticos y algas verdes (Cruz Valdez et al., 2024). Estos niveles están definidos como: alta toxicidad (1 mg/L), tóxico (1 mg/L 10 mg/L), dañino (10 mg/L 100 mg/L) y no tóxico (100 mg/L). Los datos de toxicidad revelan que el etilenglicol es clasificado como “prácticamente no tóxico” en organismos acuáticos, típicamente exhibiendo valores excedentes a 5000 mg/L en algas verdes y rebasando 10,000 mg/L en peces e invertebrados acuáticos (Cruz Valdez et al., 2024).

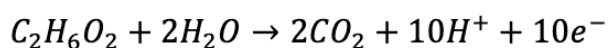
Por otra parte, debido a su sabor dulce, o como un sustituto del etanol, el etilenglicol puede ser ingerido accidental o intencionalmente por personas de diferentes edades, provocando una sensación de calor o comezón en la lengua (Yue *et al.*, 2012). La dosis tóxica de etilenglicol en el cuerpo humano es de 0.11 g/kg de peso corporal (Garg *et al.*, 2019), mientras que la dosis letal es de aproximadamente entre 1 y 1.5 g/kg de peso corporal (Garg *et al.*, 2019). Durante las primeras 3 horas después de la ingesta, el paciente puede presentar náuseas, vómitos y somnolencia (Garg *et al.*, 2019). Entre las 4 y las 24 horas, el etilenglicol comienza a metabolizarse en componentes tóxicos como el ácido glicólico, glioxílico y oxálico (Garg *et al.*, 2019), los cuales provocan hiperventilación, convulsiones, arritmia, coma y falla renal (Garg *et al.*, 2019). Posterior a las 24 horas, ya no son detectados los ácidos glicólicos, glioxílicos y oxálicos, pero el cuerpo humano puede presentar necrosis tubular y hematuria (Garg *et al.*, 2019).

Usos y aplicaciones del etilenglicol

Debido a sus amplias propiedades fisicoquímicas, diversas metodologías de producción y a que es catalogado como prácticamente no tóxico para los organismos acuáticos, el etilenglicol es un compuesto químico con un amplio espectro de aplicaciones en diferentes áreas, tales como: anticongelante y refrigerante en automóviles (Yue *et al.*, 2012), precursor para la manufactura de fibras de tereftalato de polietileno (PET, por sus siglas en inglés) (Kandasamy *et al.*, 2019), desarrollo de celdas de combustible (Serov y Kwak, 2010), electrolito en la fabricación de super capacitores (Ramasaamy *et al.*, 2014), agente lixivante en la recuperación de cobalto proveniente de cátodos de baterías de ion-litio (Peeters *et al.*, 2022), cosolvente en procesos de absorción de CO₂ (Leron y Li, 2013), fase acuosa en la síntesis de nanoestructuras con tamaños de partículas controlados (Hussein *et al.*, 2017), y solvente en procesos de destilación extractiva para la purificación de hidrocarburos (Cruz Valdez *et al.*, 2024).

Celdas de combustible

Debido a su alta capacidad energética, alta eficiencia de conversión de poder eléctrico y elevada temperatura de ebullición, el etilenglicol ha sido propuesto como solvente para la fabricación de celdas de combustible directa (Yue *et al.*, 2012). Las celdas de combustible (full cell, en inglés) son mecanismos electroquímicos en las cuales un flujo continuo de combustible y un oxidante realizan una reacción química que genera productos y libera electrones, suministrándole corriente eléctrica a un circuito externo. La electrooxidación de etilenglicol ha sido de interés en los últimos años. De acuerdo con la reacción de oxidación de etilenglicol en fase acuosa, descrita debajo, el etilenglicol se oxida completamente hasta producir CO₂, liberando 10 electrones por cada molécula de etilenglicol (Yue *et al.*, 2012). Asimismo, los protones generados provienen de la liberación de los hidrógenos del etilenglicol y del agua, indicando que es una reacción que se lleva a cabo en medio ácido. Sin embargo, esta tecnología se encuentra en desarrollo, dado que la oxidación parcial del etilenglicol produce intermediarios químicos que reducen la eficiencia de la celda.



Purificación de hidrocarburos

El ciclohexano (C₆H₁₂) es un hidrocarburo cíclico precursor del Nylon-6 y Nylon-66; los cuales, son materia prima para la elaboración de textiles. El ciclohexano se obtiene mediante la hidrogenación total del benceno (C₆H₆), un hidrocarburo aromático con características cancerígenas. Sin embargo, no todo el benceno es convertido en ciclohexano, provocando contaminación en el ciclohexano. Debido a sus similitudes en sus estructuras moleculares, el ciclohexano y el benceno no pueden separarse por destilación convencional, por lo que el uso de un solvente en procesos de destilación extractiva resulta idóneo. Cruz Valdez *et al.* (2024) utilizaron etilenglicol como solvente para la purificación de la mezcla ciclohexano/benceno, obteniendo ciclohexano y benceno con purezas ≥ 99.91 mol%; asimismo, dicho proceso resultó ser más económico y con menos emisiones de CO₂ generadas, en comparación con el uso de sulfolano como solvente.

Anticongelante y refrigerante

Debido a su elevada temperatura de ebullición, y baja temperatura de fusión, el etilenglicol es ampliamente utilizado como anticongelante y refrigerante para automóviles (Jiang *et al.*, 2023). Dado que, al mezclarse fácilmente con el agua, forma una disolución que absorbe y transfiere energía calorífica de manera eficiente, disminuyendo las temperaturas de congelación y de ebullición del agua en el sistema de enfriamiento de vehículos (Jiang *et al.*, 2023). Esto favorece que el refrigerante no se congele en climas muy fríos ni se evapore en climas muy calientes. Asimismo, su baja viscosidad facilita su circulación en el sistema de enfriamiento; adicionalmente, contiene aditivos que previenen la corrosión y formación de depósitos dentro del radiador, bomba y mangueras (Sekrani y Poncet, 2018).

Conclusiones

El etilenglicol es uno de los productos de mayor valor agregado en la industria química y en la sociedad, debido a su amplia variedad de aplicaciones y a su bajo costo de producción. Ante el aumento de su demanda, diversas tecnologías son utilizadas para su producción, siendo la más atractiva y reciente, la ruta verde, a partir de la hidrogenólisis de glicerol, obtenido a partir de biomasa. Asimismo, debido a sus importantes propiedades fisicoquímicas, en los últimos años el uso del etilenglicol ha emergido como un tema de interés de estudio en la comunidad científica, dado que, adicionalmente a su tradicional uso como anticongelante para automóviles, puede ser utilizado como solvente en la fase acuosa para la síntesis de nanoestructuras con tamaños de partículas controlados, agente lixivante en la recuperación de cobalto proveniente de cátodos de baterías de ion-litio, y agente de separación másico en la purificación de hidrocarburos.

Referencias

1. CruzValdez, J.A., Patiño-Herrera, R., Avilés Martínez, A., y Pérez, E. (2024). Separation of the cyclohexane-benzene mixture by the extractive distillation process using ethylene glycol as a solvent. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*, 196, 109686. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2024.109686>
2. Dong, Y., Elangovan, S., Sang, R., Spannenberg, A., Jackstell, R., Junge, K., Li, Y., y Beller, M. (2016). Selective catalytic two-step process for ethylene glycol from carbon monoxide. *Nature Communications*, 7, 12075. <https://doi.org/10.1038/ncomms12075>
3. Garg, U., Lowry, J., y Algren, D.A. (2019). Ethylene glycol and other glycols: analytical and interpretation issues. *Critical Issues in Alcohol and Drugs of Abuse Testing* (pp. 59-69). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815607-0.00005-8>
4. Hussein, A.M., Kadrigama, K., y Noor, M.M. (2017). Nanoparticles suspended in ethylene glycol thermal properties and applications: an overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 1324-1330. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.047>
5. Jiang, G., Liu, Y., y Liu, C. (2023). Investigation on liquid thermal conductivity of ethylene glycol (EG)/water mixtures: a comparative experimental and molecular dynamics simulation study. *J. Mol. Liq.*, 384, 122268. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.122268>
6. Kandasamy, S., Samudrala, S.P., y Bhattacharya, S. (2019). The route towards sustainable production of ethylene glycol from a renewable resource, biodiesel waste: a review. *Catalysis Science & Technology*, 9(3), 567-577. <https://doi.org/10.1039/C8CY02035C>
7. Leron, R.B., y Li, M.-H. (2013). Solubility of carbon dioxide in a choline chloride-ethylene glycol based deep eutectic solvent. *Thermochimica Acta*, 551, 14-19. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2012.09.041>
8. Peeters, N., Janssens, K., de Vos, D., Binnemans, K., y Riaño, S. (2022). Choline chloride-ethylene glycol based deep eutectic solvents as lixiviants for cobalt recovery from lithium-ion battery cathode materials: are these solvents really green in high-temperature processes? *Green Chemistry*, 24(17), 6685-6695. <https://doi.org/10.1039/D2GC02075K>
9. Ramasamy, C., Palma del Val., J., y Anderson, M. (2014). An analysis of ethylene glycol-aqueous based electrolyte system for supercapacitor applications. *Journal of Power Sources*, 248, 370-377. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jpowsour.2013.09.078>
10. Sekrani, G., y Poncet, S. (2018). Ethylene- and propylene-glycol based nanofluids: a literature review on their thermophysical properties and thermal performances. *Applied Sciences*, 8(11), 2311. <https://doi.org/10.3390/app8112311>
11. Serov, A., y Kwak, C. (2010). Recent achievements in direct ethylene glycol fuel cells (DEGFC). *Applied Catalysis B: Environmental*, 97(1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2010.04.011>
12. Tremblay, J.F. (2019). Polyester made from coal? China is betting on it. *Chemical and Engineering News*, 97(3), 22-24. Recuperado el 15 de mayo de 2025. <https://cen.acs.org/business/petrochemicals/Polyester-made-coal-China-betting/97/i3>
13. Wei, R., Yan, C., Yang, A., Shen, W., y Li, J. (2018). Improved process design and optimization of 200 kt/a ethylene glycol production using coal-based syngas. *Chemical Engineering Research and Design*, 132, 551-563. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2018.02.006>
14. Yang, Q., Yang, Q., Xu, S., Zhu, S., y Zhang, D. (2020). Technoeconomic and environmental analysis of ethylene glycol production from coal and natural gas compared with oil-based production. *Journal of Cleaner Production*, 273, 123120. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123120>
15. Yue, H., Zhao, Y., Ma, X., y Gong, J. (2012). Ethylene glycol: properties, synthesis, and applications. *Chemical Society Reviews*, 41(11), 4218-4244. <https://doi.org/10.1039/C2CS15359A>
16. Zhao, G., Zheng, M., Sun, R., Tai, Z., Pang, J., Wang, A., Wang, X., y Zhang, T. (2017). Ethylene glycol production from glucose over W-Ru catalysts: maximizing yield by kinetic modeling and simulation. *AIChE Journal*, 63(6), 2072-2080. <https://doi.org/10.1002/aic.15589>



Boletín de la Sociedad Química de México