



CONTENIDO No. 76

Implicaciones filosóficas de Hume, Popper y Bradford Hill subyacentes en el quehacer científico del investigador

El aspecto fiscal de la nueva subcontratación en México

Ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje durante la Covid-19

Ventajas de los aceros avanzados de alta resistencia en la disminución de consumo de combustible.

Termodinámica de la determinación de oro por la técnica de ensayo al fuego, una revisión.

Andamios Tisulares Óseos a partir de Biocompositos aplicados al Desarrollo de Prótesis Craneal.

Avances en la inmovilización de enzimas Sobre superficies poliméricas y sus diferentes aplicaciones en la industria

Efecto Magnetocalórico, qué es y cuáles son los materiales EMC

Asociación de la infección por COVID-19 en médicos internos de pregrado de una facultad de medicina del norte de México

Nanoportadores híbridos termo/pH sensibles a partir del uso de soportes inorgánicos de magnetita y sílice para la liberación controlada de fármacos antineoplásicos.

Electrodeposición de nanopartículas metálicas: una estrategia en contra de la bioincrustación marina

"Determinar la influencia de las competencias desarrolladas en el nivel educativo superior frente a la empleabilidad actual en egresados"

Celdas de Combustible: componentes, operación y aplicaciones

Agave: importancia y aplicaciones en México

"Nearshoring" oportunidad y riesgo en la Educación Superior en Saltillo.

Sobre el tamaño del universo y su posible colapso utilizando matemáticas y física básica

ISSN: 2683-1848

Publicada desde 2005

CienciAcierta, año 19, No. 76, octubre - diciembre 2023, es una publicación trimestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25380, Saltillo, Coahuila, Editor Responsable: Ing. Carlos Federico Robledo Flores. Reserva de Derechos al uso exclusivo **No. 04-2019-010914143600-203, ISSN: 2683-1848**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos Federico Robledo Flores, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, 12 octubre de 2023.

Consejo Ejecutivo Editorial:

Dra. Anna Iliina
Editor

annailina@uadec.edu.mx

Dr. David Castro Lugo
CISE-Universidad Autónoma de Coahuila
david.castro@uadec.edu.mx

Dr. José María Guajardo Espinoza
Editor asociado
Universidad Autónoma de Coahuila
jguajar@uadec.edu.mx

Ing. Carlos Federico Robledo Flores
Departamento editorial
Universidad Autónoma de Coahuila
carlos.robledo@uadec.edu.mx

Dr. José Sandoval Cortes
Subdirector Administrativo - DIP
Universidad Autónoma de Coahuila
josesandoval@uadec.edu.mx

Dr. Cristóbal Noé Aguilar González
Grupo de Bioprocesos
Universidad Autónoma de Coahuila
cristobal.aguilar@uadec.edu.mx

Dr. José Luis Martínez Hernández
Subdirector de Posgrado - DIP
Universidad Autónoma de Coahuila
Jose-martinez@uadec.edu.mx

Comité técnico editorial nacional e internacional

Dr. Jesús Alberto Montalvo Morales
Administración
Relaciones Internacionales-UAdeC
jesusmontalvo@uadec.edu.mx

Dra. Gabriela De La Peña Astorga
Comunicación
FCC-Universidad Autónoma de Coahuila
gabriela.pena@uadec.edu.mx

Dr. Gilberto Aboites Manrique
Sociología
CISE-Universidad Autónoma de Coahuila
gilberto.aboites@uadec.edu.mx

Dra. Irma Delia García Calvillo
Matemáticas
CIMA- Universidad Autónoma de Coahuila
irma.garcia@uadec.edu.mx

Dr. Pablo Ruiz Flores
Ciencias de la Salud
CIB- Universidad Autónoma de Coahuila
pabloruiz@uadec.edu.mx

Dr. José González Tovar.
Psicología
FP- Universidad Autónoma de Coahuila
josegonzaleztovar@uadec.edu.mx
josegtovar82@hotmail.com

Dra. Elda Patricia Segura Cenicerós.
Química
FCQ- Universidad Autónoma de Coahuila
psegura@uadec.edu.mx

Dr. Gustavo Félix Verdusco.
Economía
CISE- Universidad Autónoma de Coahuila.
gustavo.felix@uadec.edu.mx

Juan Carlos Centeno Maldonado
Jurisprudencia
FJ- Universidad Autónoma de Coahuila.
centenojuan@uadec.edu.mx

Dra. Virginia Nevárez Moorillón
Microbiología y ciencias ambientales
Facultad de Ciencias Químicas
Universidad Autónoma de Chihuahua, México
vnevare@uach.mx

Dra. Arely Prado Barragán
Biología y Alimentos
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa
México.
lapb@xanum.uam.mx

Dr. Gerardo Gutiérrez Sánchez
Ciencias Químicas y Biológicas
CCRC-The University of Georgia, USA.
gerardo@ccrc.uga.edu

Dr. Guillermo Picó
Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas
Universidad Nacional de Rosario, Argentina
gpico@fbioyf.unr.edu.ar

Dr. Luis Huesca Reynoso
Economía
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México
lhuesca@ciad.mx

Dr. Manuel Gil Antón
Educación
El Colegio de México
mgil@colmex.mx

Dra. Laura Elena Zendejas Frutos
Educación
INEE
laura.zendejas@inee.edu.mx

CONTENIDO

Implicaciones filosóficas de Hume, Popper y Bradford Hill subyacentes en el quehacer científico del investigador	6
Philosophical implications of Hume, Popper and Bradford Hill underlying the researcher's scientific work <i>Pablo Castro-Flores, David Pedroza-Escobar, Lilia Edith Luque-Esparza, Citlalli Esmeralda Corvera-Aispuro, Dealmy Delgadillo-Guzmán</i>	
El aspecto fiscal de la nueva subcontratación en México	20
The tax aspect of the new outsourcing in Mexico <i>Rocío Salas Chávez, Juan Gerardo Alba Belmontes, Emmanuel Carrillo González</i>	
Ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje durante la Covid-19	34
Anxiety produced by the lack of resources for learning during Covid-19 <i>José María Guajardo Espinoza, María Teresa Rivera Morales, Angela Gabriela Molina Arriaga, Yaralin Aceves Villanueva</i>	
Ventajas de los aceros avanzados de alta resistencia en la disminución de consumo de combustible.	49
Advantages of advanced high-strength steels in reducing fuel consumption. <i>García-Guzmán Alejandra A., Soria-Aguilar, Ma. de Jesús, Carillo-Pedroza, Francisco R., García-Sánchez, Edgar O.</i>	
Termodinámica de la determinación de oro por la técnica de ensayo al fuego, una revisión.	66
Thermodynamics of gold determination by fire assay technique, a review. <i>Betssy Maley Salazar-Banda, Francisco Raúl Carrillo-Pedroza, Felipe de Jesús López-Saucedo, Ma. De Jesús Soria-Aguilar, Juan Antonio González-Anaya</i>	
Andamios Tisulares Óseos a partir de Biocompositos aplicados al Desarrollo de Prótesis Craneal.	83
Bone Tissue Scaffolds based on Biocomposites applied to the Development of Cranial Prosthesis. <i>Liliana Sofía Valdés Rodríguez, María Maura Téllez Rosas, Rafael Aguirre Flores, Felipe Ávalos Belmontes, Jorge L. Acevedo Dávila.</i>	
Avances en la inmovilización de enzimas Sobre superficies poliméricas y sus diferentes aplicaciones en la industria	99
Importance of enzymes immobilized on polymeric surfaces and their different applications in industry <i>Ricardo Gallardo Espinoza, Rosa Idalia Narro Céspedes, María Cristina Ibarra Alonso</i>	
Efecto Magnetocalórico, qué es y cuáles son los materiales EMC	131
Magnetocaloric effect, what is it and what are the EMC materials? <i>María Guadalupe Fuentes Zamarrón, Jesús Emilio Camporredondo Saucedo, Eduardo Macías Avila, Laura G. Castruita Avila</i>	
Asociación de la infección por COVID-19 en médicos internos de pregrado de una facultad de medicina del norte de México	152
Association of COVID-19 infection in undergraduate medical interns of a medical school in northern Mexico <i>Rubén Daniel Arellano-Pérez Vertti, Faviel Francisco González-Galarza, Jorge Haro-Santa Cruz, Daniel Orlando Arellano-Ramírez, Diego Fernando Arellano-Ramírez, Rafael Argüello-Astorga</i>	

Electrodeposición de nanopartículas metálicas: una estrategia en contra de la bioincrustación marina Electrodeposition of metallic nanoparticles: a strategy against marine biofouling <i>Francisco Martínez-Baltodano, Coraquetzali Magdaleno-López, y Gregorio Vargas-Gutiérrez</i>	194
“Determinar la influencia de las competencias desarrolladas en el nivel educativo superior frente a la empleabilidad actual en egresados” “Determine the influence of developed skills in the higher educational level opposite the current employability with graduates” <i>David Ezael Robles Quintanilla</i>	222
Celdas de Combustible: componentes, operación y aplicaciones Fuel Cells: components, operation and applications <i>Gonzalo Martínez-Barrera, Miguel Martínez-López, Antonio Téllez-López</i>	239
Agave: importancia y aplicaciones en México Agave: value and applications in México <i>Mónica Alejandra Robles Arias, Alma Elizabeth Cruz Guerrero</i>	264
“Nearshoring” oportunidad y riesgo en la Educación Superior en Saltillo. Nearshoring, opportunity and risk for tertiary education in Saltillo. <i>Félix Rubén Lostal Martínez</i>	289
Sobre el tamaño del universo y su posible colapso utilizando matemáticas y física básica On the size of the universe and its possible collapse using mathematics and basic physics <i>Julio Saucedo Zul</i>	321

Implicaciones filosóficas de Hume, Popper y Bradford Hill subyacentes en el quehacer científico del investigador

*Philosophical implications of Hume, Popper and Bradford Hill underlying the
researcher's scientific work*

Pablo Castro-Flores¹, David Pedroza-Escobar², Lilia Edith Luque-Esparza³,
Citlalli Esmeralda Corvera-Aispuro⁴, Dealmy Delgadillo-Guzmán¹

1. Departamento de Farmacología, Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. Av. Morelos 900 Ote., Col. Primero de Cobián Centro, CP 27000. Torreón, Coah., México.
2. Departamento de Bioquímica del Centro de Investigación Biomédica de la Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón. Av. Morelos No. 900 Oriente, Primero de Cobián Centro, CP 27000, Torreón, Coah.
3. Departamento de Anestesiología del Hospital General de Zona No.51 del Instituto Mexicano del Seguro Social, Delegación Durango. Calle María Esther Galarza No. 222, Fraccionamiento Fidel Velásquez, CP 35025, Gómez Palacio, Dgo. <https://orcid.org/0000-0002-6095-0513>.
4. Departamento de Cirugía de la Unidad Médica de Alta Especialidad No.71 del IMSS, Delegación Coahuila. Blvd. Revolución y Calle 27 S/N, Centro. CP 27000, Torreón, Coah. <https://orcid.org/0000-0002-5978-1716>.

Correspondencia para autor: Pablo Castro Flores
Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad Torreón
Celular: 87 11 11 57 27
Correo electrónico: pablocastro@uadec.edu.mx

Resumen

Conforme el desarrollo de la ciencia se ha consolidado, su diferenciación de los abordajes filosóficos se ha vuelto cada vez más evidente, sin implicar por ésta razón, que la ciencia haya dejado de estar influenciada o complementada por diferentes aportes de la filosofía, pues su relación es profunda y trascendental.

La actividad científica del investigador está muy relacionada con aspectos filosóficos, epistemológicos y éticos, los que constituyen pilares fundamentales de su quehacer científico, pero que en la práctica no siempre son considerados con la relevancia que tienen. Son muchos los exponentes en estos ámbitos con aportes muy valiosos, en este artículo es abordada de manera directa la filosofía de David Hume, además de considerar aportes de Karl Popper y de Austin Bradford Hill. El objetivo de este artículo es integrar y presentar de forma concisa elementos esenciales epistemológicos y filosóficos en el marco del quehacer científico del investigador, que están relacionados directamente con su desempeño profesional y que su dominio contribuye a fortalecer su rol como investigador.

Palabras clave: Doctor en Filosofía (PhD), David Hume, Karl Popper, criterios de Bradford Hill.

Abstract

As the development of science has been consolidated, its differentiation of philosophical approaches has become increasingly evident, without implying for this reason that science has ceased to be influenced or complemented by different contributions of philosophy, since their relationship it is profound and momentous.

The scientific activity of the researcher is highly influenced by philosophical, epistemological and ethical aspects, which constitute fundamental pillars of his scientific work, but which in practice are not always considered with the relevance they have. There are many exponents in these areas with very valuable contributions, in this work the philosophy of David Hume, Karl Popper and the contributions of Austin Bradford Hill are directly considered. The objective of this article is to integrate and present in a concise way

essential epistemological and philosophical elements within the framework of the researcher's scientific work, which are directly related to his professional performance and whose domain contributes to strengthening his role as a researcher.

Keywords: Doctor of Philosophy (PhD), David Hume, Karl Popper, Bradford Hill criteria.

Introducción

La ciencia y la filosofía han tenido etapas en que no estaban diferenciadas, otras etapas de poca o mucha diferenciación e incluso algunas etapas de cierta oposición mutua. Actualmente cada una tiene muy definido su campo de acción, sus objetivos de estudio, así como sus limitaciones y alcances (Bunge, 1992).

La filosofía, por sí misma, se establece como un pilar fundamental para la ciencia, en el sentido de que orienta a un científico a observar a su alrededor, cuestionarse y buscar explicar los fenómenos que percibe en su mundo de manera cada vez más específica y completa. Por medio de la filosofía de la ciencia es que se deja de vislumbrar a la ciencia como el único patrón válido de conocimiento, y permite al mismo tiempo el cuestionar los paradigmas arraigados en cada momento histórico, para dar lugar a la generación y adopción de nuevos paradigmas resultantes de la implementación del método científico (De Hoyos, 2020).

Resulta interesante conocer como uno de los libros considerado como una de las obras científicas más emblemáticas e importantes de la ciencia, lleve por nombre *Philosophiae naturalis principia mathematica* (Principios matemáticos de la filosofía natural), desarrollada por Isaac Newton y cuya primera edición data de 1687, lo que refleja la implicación de las concepciones filosóficas en los abordajes científicos preliminares. Relacionado con lo anterior, en el ámbito académico internacional, una de las distinciones más reconocidas es la de Doctor en Filosofía o PhD (*Philosophie Doctor*) como regularmente se le conoce por sus siglas en inglés y que está destinado para aquellos académicos dedicados a la generación de conocimiento.

De forma general, los estudios de doctorado son considerados como el grado académico de mayor relevancia disponible. De acuerdo con el Programa Nacional de

Posgrados de Calidad (PNPC), el doctorado de investigación se orienta a la formación para la investigación interdisciplinaria, así como en el fomento de la capacidad crítica, creativa e innovadora con el objetivo de aportar conocimiento a través de investigaciones originales (Patiño, 2019). La generación de conocimiento requiere de una serie de habilidades y métodos orientados hacia la consecución de dicho propósito, además de múltiples conocimientos de tipo científico y más allá del ámbito científico, abordando de una forma u otra áreas como la epistemología, la filosofía de la ciencia, la ética, por mencionar algunas de las principales.

Desarrollo

David Hume (1711-1776), filósofo y economista escocés, tiene como su obra más reconocida el “Tratado de la Naturaleza Humana”. Dividió su tratado en tres libros, titulados *Del entendimiento*, *De las pasiones* y *De la moral*. En el primer libro, Hume expone su teoría del conocimiento. Todas las citas textuales de Hume citadas en el presente artículo, provienen de su obra “Tratado de la Naturaleza Humana”, a menos que se especifique lo contrario.

De acuerdo con Calvente (2018), con base en la función del objeto de conocimiento, Hume realiza una distinción entre dos tipos de razonamiento: para las relaciones de ideas se amerita un razonamiento demostrativo a priori, en contraste con las cuestiones de hecho, en las cuales debería emplearse un razonamiento experimental que parta de la observación, lo cual permite considerar que tanto la experiencia como la razón no se excluyen mutuamente de manera necesaria.

Implicaciones de la filosofía de Hume en el quehacer científico

Para Hume, *“todo nuestro conocimiento proviene del análisis de nuestros contenidos mentales”*, lo cual relacionándolo con la ciencia puede implicar que toda

investigación tiene como elemento fundamental la observación de un fenómeno de interés y de los procesos mentales que se generan en torno a esas observaciones.

En la concepción filosófica de Hume toda percepción de la mente humana se reduce a dos géneros distintos: impresiones (penetran con más fuerza y violencia) e ideas (imágenes débiles en la mente humana). Las *ideas* permiten al ser humano la conceptualización y expresión en torno al mundo, las *impresiones* posibilitan la experiencia e inmersión en el mundo, siendo que estas últimas pueden ser reflejadas en estudios que abordan componentes psicoemocionales (síntomas de depresión, ansiedad, miedo, calidad de vida, etc.) y de experiencia de vida, factores muy importantes que influyen en la percepción del participante de su contexto.

Las *percepciones* pueden dividirse en: simples (no admiten distinción ni separación: color, sabor y olor) y complejas (pueden ser divididas en partes). Los componentes psicoemocionales implican percepciones de tipo complejo, ya que para especificar que alguna persona tiene síntomas de depresión, estrés o miedo, se requiere de la conjunción en un mismo momento y en el mismo individuo de varios criterios para poder afirmar que hay presencia o no de estrés por mencionar alguno. Una situación diferente ocurre con la percepción de experimentar algún signo atribuible a la ansiedad, el cual por sí mismo no es suficiente para determinar la presencia de ansiedad como un cuadro clínico y no como una simple manifestación. Una idea simple es, por ejemplo, sentir la humedad del sudor frío recorriendo la frente o experimentar la sensación de taquicardia, ambos elementos relacionados con la ansiedad.

Las impresiones pueden ser divididas en dos géneros: las de la sensación y las de la reflexión. Las ideas de reflexión también pueden desencadenar factores tales como *deseo* y *aversión*, *esperanza* y *temor*, de acuerdo a lo postulado por Hume. El punto anterior tiene cierta conexión, con la importancia del efecto placebo y nocebo, entendiéndose éste último como la influencia ejercida en la susceptibilidad a una enfermedad, resistencia a un tratamiento o a la intensificación de los síntomas cuando hay determinados factores intrapsíquicos o contextuales en determinado sujeto (Ferrerres y col., 2004).

Hume considera que *“la facultad por la que reproducimos nuestras impresiones del primer modo es llamada memoria, y aquella que las reproduce del segundo, imaginación”*. La capacidad de poder establecer hipótesis está fundamentada en la imaginación, entendiéndose ésta como una facultad, al implicar la manipulación interior de contenidos mentales, los cuales posteriormente buscarán ser confirmados o refutados al interactuar con una muestra en particular de la realidad tal cual o del fenómeno de interés. La *memoria* permite acumular un amplio acervo teórico producto del trabajo riguroso de muchos investigadores a nivel internacional, manifestándose tangiblemente a través de repositorios, bibliotecas y organización digital de toda esta información y artículos científicos. Todo *review* constituye una actualización en cuanto al concepto de memoria para organizar todo lo más reciente que ha sido descubierto.

La capacidad de establecer relaciones entre contenidos mentales, permite someter a análisis estadísticos todos los resultados encontrados. Además posibilita los procesos de discusión de los propios hallazgos con lo generado por otros investigadores, así como poder establecer si fuera el caso modelos predictivos que permitan anticipar en un futuro el comportamiento de ciertas variables.

Probabilidad, causalidad y valor p

Un reto del quehacer científico es el lograr observar, comprender y de alguna manera modelar un evento o fenómeno de interés, para poder extrapolar los hallazgos encontrados a otros contextos. Hume, considera que la percepción y la experiencia brindan información de un evento y es la razón, aún con ciertas limitaciones que puede llegar a presentar, la encargada de analizar y procesar toda esa información sensorial para transformarla en conocimiento. El abordaje de la realidad con toda su complejidad, matices y gradientes en la observación de sus fenómenos, permite tener un marco de comprensión mayor y disponer de un “... lenguaje de representación que sea más fiel a la realidad que se pretende estudiar...” (Colom y Ballester, 2020), tal como es contemplado en los planteamientos de la lógica difusa presentados por Lofti Zadeth (1965) y que han tenido un

profundo impacto en la actualidad en el desarrollo de sistemas expertos, redes neuronales y computación con palabras (Montero y Cruz, 2018).

Hume considera que todo razonamiento no consiste más que en la comparación y en el descubrimiento de las relaciones constantes o inconstantes que dos o más objetos mantienen entre sí. Esta postura refleja de manera directa el nivel de investigación relacional con sus tres categorías: comparación, asociación y correlación. Sin embargo, ya en el nivel de investigación explicativo, en aspectos de causa-efecto, Hume es más prudente al afirmar que *“...tan sólo la causalidad produce una conexión que nos da la seguridad de la existencia o acción de un objeto que fue seguido o precedido por la existencia o acción de otro, y no pueden las otras dos relaciones usarse en el razonamiento excepto en tanto que le afectan o son afectadas por él”*.

Hume (2001) establece que la probabilidad o razonamiento por conjetura se puede dividir en dos géneros: el fundado en el azar y el que surge de las causas. La idea de causa y efecto se deriva esencialmente de la experiencia que permite observar el entrelazamiento de experiencias y de objetos. Considera que el azar no es algo propiamente real en sí mismo y que más bien es la negación de una causa y por lo tanto contrario a la causalidad. Y precisamente lo que se busca con el establecimiento y trabajo con las hipótesis es poder atribuir que determinado hallazgo mediante el valor probabilístico de la significancia estadística de p , sea lo menos posible atribuible al azar. Y por lo tanto, el afirmar o rechazar algo de forma absoluta no es completamente viable en su generalidad, pero sí aumentan las probabilidades de que algo tenga cierto comportamiento o tendencia o no. Hume (2001) expresa que *“no existe una probabilidad tan grande que no permita la posibilidad de lo contrario, porque de otro modo cesaría de ser una probabilidad y se convertiría en certidumbre”* y es parte del camino emprendido por la ciencia el reducir al máximo el efecto del azar. En este contexto el valor p es un dato muy relevante en la lectura científica, considerándose como la probabilidad de obtener, debido al azar, una diferencia mayor o tan grande como la observada, esperándose que no exista una diferencia real en la población de la que provienen las muestras (Molina, 2017).

Componentes deductivos e inductivos

Los hechos científicos en los que se basa un protocolo están basados en hallazgos previos resultantes del quehacer científico. A través del razonamiento deductivo y de la implementación del protocolo, se pretende ir más allá en el hallazgo, confirmación o refutación de ciertos hechos científicos, para darles una contextualización más profunda y fina.

El proceso deductivo por definición implica un razonamiento de lo específico o particular en dirección a lo general. La mayoría de los estudios de niveles de investigación más allá de lo descriptivo pretenden extrapolar los resultados encontrados mediante la observación de los elementos muestrales y su procesamiento mediante análisis estadísticos, al universo de trabajo.

Por procesos inductivos, a través del trabajo realizado en relación con los participantes de todo estudio, se obtienen conclusiones inductivamente. La conclusión obtenida en algún estudio en base al objetivo general, permite la generalización deductiva posterior de ese hallazgo y posibilita a otros investigadores el anticipar lo que sería probable que ocurriera en una situación similar a la abordada en la investigación. La interrelación existente entre los procesos inductivos y deductivos, así como su entramado con el quehacer científico están presentados a continuación en la **Figura 1**.

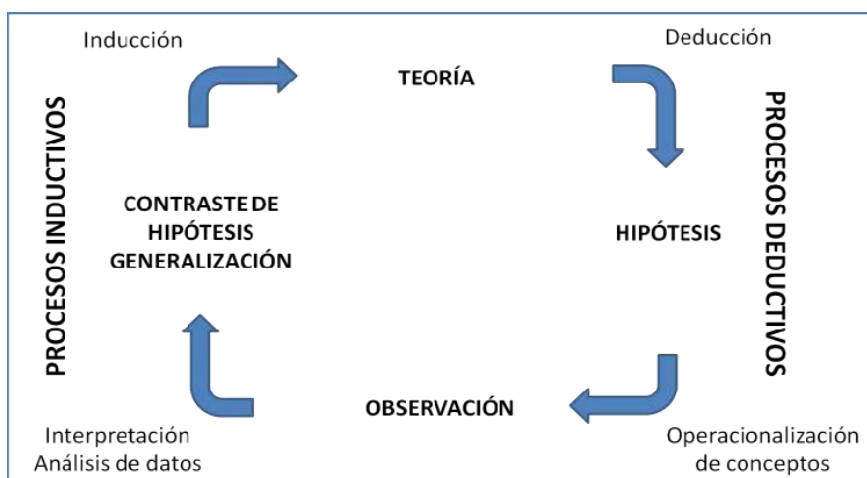


Figura 1. Interrelación entre procesos inductivos y deductivos.

Fuente: <https://images.app.goo.gl/jyk7GJBTJGv6pHTQA>

La adecuada expresión de los elementos formales del razonamiento deductivo e inductivo se realiza a través del área de la Filosofía llamada Lógica Filosófica, a la que se recurre para a través de argumentos y proposiciones (premisas y conclusión), apoyar o refutar una hipótesis (Pineda, 2009). El investigador conocedor de las reglas que fundamentan la lógica filosófica, está en condiciones de fundamentar de forma importante la validez de sus argumentos, brindando una mayor solidez a la redacción de su hipótesis y conclusión, así como poder tener una mayor comprensión de los argumentos provenientes de la revisión de literatura científica a la que recurre como base para su trabajo o como elementos de discusión al redactar su artículo.

Paralelismos entre la filosofía de Hume y los criterios de Bradford Hill

David Hume y Bradford Hill, aún con los dos siglos de diferencia entre sus propuestas de pensamiento, presentan similitudes muy interesantes. Ambos fueron individuos de perspectiva profunda y con una enorme capacidad para integrar de una forma nueva aspectos muy relevantes del cúmulo de conocimiento previo a cada uno ellos. Por otro lado, las diferencias entre su pensamiento son naturalmente esperadas considerando el contexto socio-histórico de cada uno, así como su realidad inmediata experiencial.

Como se mencionó, David Hume fue eminentemente un filósofo y una de las figuras más importantes de la filosofía occidental y de la Ilustración escocesa. Austin Bradford Hill (1897-1991) fue un epidemiólogo y estadístico inglés, uno de los pioneros de los ensayos clínicos aleatorizados. Su principal aporte fue el planteamiento de los denominados «criterios de Bradford Hill», una serie de lineamientos para determinar una relación causal (Hill, 1992) y que sólo alguien brillante como él y con conocimientos profundos de medicina, epidemiología, filosofía de la ciencia y estadística pudo haber integrado.

Los criterios de Bradford Hill comparten cierta correspondencia con la filosofía de Hume. Los criterios de Bradford Hill constituyen un marco de referencia sumamente empleado en la investigación biomédica y son parte de los pilares estructurales de su

quehacer científico (Morabia, 1992), y toman en consideración los requisitos básicos que han de cumplirse para considerar una relación causal existente entre determinado factor y alguna enfermedad. En la **Tabla 1**, está plasmada la correspondencia existente entre los criterios de Bradford Hill y las reglas de Hume; no en todos los puntos se observa correspondencia, para ello es importante mencionar que Hume como filósofo era un pensador pre-experimental, ya que el componente experimental como método de investigación surgió hasta el siglo XIX.

Tabla 1. Paralelismos entre los criterios de Bradford Hill y reglas de Hume por las cuales juzgar sobre causas y efectos (modificado levemente sobre el cuadro de Morabia, 1992).

Criterios de Hill	Reglas de Hume
1. Secuencia temporal	1. “La causa debe preceder al efecto” (reglas 1 y 2).
2. Dosis-respuesta	2. “Cuando cualquier cosa se acrece o decrece con el aumento o la mengua de su causa” (regla 7).
3. Coherencia	3. No aplicable directamente.
4. Intensidad de asociación	4. “Entre causa y efecto ha de haber una unión constante” (regla 3).
5. Analogía	5. “Efectos similares implican causas similares” (regla 6).
6. Especificidad	6. “La misma causa siempre genera el mismo efecto, y el mismo efecto nunca deriva sino de la misma causa” (regla 4).
7. Verosimilitud biológica	7. No aplicable.
8. Experimento	8. No aplicable.
9. Consistencia	9. No aplicable.

Karl Popper y el falsacionismo

Karl Popper (nacido en Austria el 28 de julio de 1902) es considerado uno de los filósofos de la ciencia más relevantes del siglo XX, generando una importante influencia tanto en las ciencias sociales como en las ciencias exactas (Suárez, 1999). Dentro de su ejercicio intelectual generó aportaciones relevantes tales como: falsabilidad, falibilismo,

criterio de demarcación. Dentro del marco de la ciencia, Popper cuestionó de manera estricta la validez del inductivismo; cuestionaba severamente la recolección de información sin antes tener una teoría previa que la sustentara; se orientaba mucho al abordaje de problemas más que de temas, considerando a una teoría como una propuesta de solución a un problema, además de la no viabilidad en la demostración de teorías, sino más bien su refutación o corroboración (Suárez, 1999).

De acuerdo a Gómez (2020), para Popper la verdad científica se presenta como un ideal regulativo de las prácticas científicas en su propósito para establecer conocimientos científicos válidos, alejándose completamente de prácticas pseudocientíficas o de caer en trampas debido a una racionalidad limitada, además de siempre conservar su capacidad de autocritica y conservar las exigencias éticas que permitan el encaminamiento a la elección tanto de las mejores teorías científicas como de las mejores teorías ético-morales.

El pensamiento de Popper brinda al científico elementos muy sólidos para desempeñarse de manera muy racional, autocrítica, consciente de limitaciones y alcances tanto en su actividad como en la ciencia misma.

Consideraciones bioéticas

La Ética es la disciplina filosófica que aborda las cuestiones relativas a todas las conductas y principios que rigen la conducta humana esencialmente en base a los principios universales del bien, la verdad, la belleza y la justicia. Después de haberse cometido en el pasado importantes atropellos en relación a derechos humanos y prácticas en investigación en seres humanos, diferentes marcos de referencias comenzaron a surgir en torno al desarrollo de normas éticas y jurídicas universales, entre los que destacan el Código de Nuremberg, Declaración de Helsinki e Informe Belmont (Zavala y Alfaro, 2011).

Los grandes avances de la tecnología y de la ciencia requieren de la aplicación de la ética en contexto de investigaciones de salud y abordaje de cuestiones de tipo biomédico y en relación con la salud, armonía y bienestar del ser humano, animales y los sistemas interrelacionados que los integran. En el año de 2005, fue promulgada y firmada por 191 países la *Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos*, un logro muy

importante en la bioética que va más allá de la relación biomédica para extenderse a cuestiones de índole social, sanitaria y ambiental, incluyendo importantes puntos como la justicia, la vulnerabilidad, discriminación y pobreza (Salvador y col., 2018).

Para el investigador, el conocimiento de elementos éticos, bioéticos y contextuales de la realidad en que está inmerso y desde la cual desempeña su quehacer científico, le faculta en cierto nivel de una mayor comprensión, perspectiva y sensibilidad para desempeñarse de la manera más idónea posible.

Conclusiones

El investigador con grado PhD (Doctor en Filosofía) ha de desempeñar su labor de forma consistente con lo que el título implica, un individuo capacitado para continuar aportando en los constructos de conocimientos sistematizados de la ciencia, enriqueciendo su labor con los múltiples aportes que las disciplinas filosóficas aportan a su quehacer científico y que al ser aplicados le posibilitan de una visión más profunda y completa de cada situación.

El Doctor en Ciencias que desempeña su labor enriqueciéndose de las bases filosóficas tiene varias fortalezas a su disposición: 1) Empleo consciente del razonamiento inductivo y deductivo; 2) Estructuración de afirmaciones en base a las premisas de la lógica filosófica; 3) Adecuada comprobación y refutación de hipótesis; 4) Postura cuestionadora y actitud profesional escéptica dubitativa; 5) Capacidad de razonamiento inferencial y apertura a perspectivas esclarecedoras (*insights*); 6) Capacidad de abstracción de cada contexto en las partes que lo componen (variables dependientes, independientes, covariables y variables confusoras); 7) Determinación fundamentada de componentes de causalidad; 8) Pensamiento crítico y analítico; 9) Alineamiento con los aspectos bioéticos en la investigación biomédica, por mencionar las principales.

Referencias

- Bunge, M. (1992). *La ciencia: su método y su filosofía*. Ed. Patria. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/fd4cd>. Fecha de consulta: 17 de mayo de 2022.
- Calvente, S. (2018). David Hume y la distinción entre filosofía especulativa y experimental. *Diánoia*. 63(81): 109-131. DOI: 10.22201/iifs.18704913e.2018.81.1574
- Colom, A. J., & Ballester, L. (2020). La epistemología de la Complejidad en Ciencias Sociales y de la Educación: debates, modelos de análisis y aplicaciones. En W. Morales y T. Valdez (Coordinadoras), *Perspectivas desde la complejidad y ciencias sociales*, (pp. 17-60). México: El Colegio de Morelos.
- De Hoyos, S. (2020). El método científico y la filosofía como herramientas para generar conocimiento. *Revista Filosofía UIS*. 19(1): 230-245. DOI: 10.18273/revfil.v19n1-2020010
- Ferreres, J., Baños, J. & Farré, M. (2004). Efecto nocebo: la otra cara del placebo. *Medicina clínica*. 122(13): 511-516. DOI: 10.1016/S0025-7753(04)74289-X
- Gómez, A. (2020). Racionalismo crítico, verdad científica y falibilismo moral en la epistemología de Karl Popper. *Phainomenon*. 19(1): 85–91. DOI: 10.33539/phai.v19i1.2179
- Hill, A.B. (1992). Ambiente y enfermedad: ¿asociación o causación? *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*. 113 (3): 233-242. [En línea]. Disponible en: <https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/16439/v113n3p233.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 25 de febrero de 2022.
- Hume, D. (2001). *Tratado de la naturaleza humana*. Libros en la Red. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/77785>. Fecha de consulta: Abril de 2022.
- Molina, M. (2017). ¿Qué significa realmente el valor de p? *Pediatría Atención Primaria*, 19(76), 377-381. [En línea]. Disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S113976322017000500014&lng=es&nrm=iso. Fecha de consulta: 20 de mayo de 2022.
- Montero, C. L., & Cruz, E. T. (2018). Lotfi Zadeh: el genio creador de la lógica borrosa. *Publicaciones en Ciencias y Tecnología*. 12(2): 127-133.

- Morabia, A. (1992). Sobre el origen de los criterios causales de Austin Bradford Hill. *Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana (OSP)*. 113 (3): 243-247. [En línea]. Disponible en: <https://onx.la/52f55>. Fecha de consulta: 8 de febrero de 2022.
- Patiño, J. (2019). Análisis comparativo entre el doctorado profesional y de investigación en México. *Revista iberoamericana de educación superior*. 10(28): 25-41. DOI: 10.22201/iissue.20072872e.2019.28.427
- Pineda, O. (2009). Inducción y deducción como origen de la ciencia. *Konvergencias: Revista de Filosofía y Culturas en Diálogo*. (21): 122-133. [En línea]. Disponible en: <http://www.konvergencias.net/pinedalemus242.pdf>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2022.
- Salvador, T., Sampaio, H. & Palhares, D. (2018). Análisis textual de la Declaración Universal sobre Bioética y Derechos Humanos. *Revista Bioética*, 26: 523-529. DOI: 10.1590/1983-80422018264270
- Suárez, E. (1999). ¿Quién fue Popper? *Estudios Políticos*. (22). [En línea]. Disponible en: <http://revistas.unam.mx/index.php/rep/article/viewFile/37248/33832>. Fecha de consulta: 7 de mayo de 2022.
- Zavala, S. & Alfaro, J. (2011). Ética e investigación. *Revista peruana de medicina experimental y salud pública*. 28(4): 664-669. [En línea]. Disponible en: http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342011000400015&lng=es&tlng=es. Fecha de consulta: 3 de abril de 2022.

El aspecto fiscal de la nueva subcontratación en México

The tax aspect of the new outsourcing in Mexico

Dra. Rocío Salas Chávez
Facultad de Administración Fiscal y Financiera
Universidad Autónoma de Coahuila
r.salas@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9459-3756>

PhD Juan Gerardo Alba Belmontes
Unidad académica extensiva en Gómez Palacio
Universidad Pedagógica de Durango
jgalba66@hotmail.com

Alumno Emmanuel Carrillo González
Facultad de Administración Fiscal y Financiera
Universidad Autónoma de Coahuila

RESUMEN

La subcontratación en México es un tema que ha generado mucha controversia ya que tuvo grandes beneficios para muchas industrias que dieron un correcto uso al esquema, sin embargo, también ha sido utilizado por muchos empresarios como una vía para evasión y “ahorro” de sus obligaciones; como lo es el pago de las utilidades a los trabajadores y el pago de las cuotas obrero-patronales al Instituto Mexicano del Seguro Social y al Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores. Fue utilizada como una deducción autorizada para efectos del impuesto sobre la renta y del impuesto al valor agregado logrando así un doble beneficio fiscal.

El nivel de explotación de esta figura ha sido tal, que en nuestro país la subcontratación ha sido considerada por las autoridades fiscales como una actividad vulnerable. La reforma que inició en el año 2019 incluye cambios en la ley federal del trabajo, ley del seguro social, ley del INFONAVIT, código fiscal de la federación, ley del impuesto al valor agregado, ley del impuesto sobre la renta, también tiene repercusiones en la ley federal para la prevención e identificación de operaciones con recursos de procedencia ilícita, mejor conocida como la ley Antilavado, por lo que se considera un delito fiscal como delincuencia organizada, por ende afectó también a la ley federal contra la delincuencia organizada, código nacional de procedimientos penales, ley de seguridad nacional, código penal federal y código fiscal de la federación.

Aunque el tema principal de este artículo es la reforma laboral en materia de subcontratación, es necesario abordar algunos aspectos legales, fiscales, de seguridad social e incluso aspectos penales ya que un contribuyente que pretenda abusar de este esquema para pagar menos impuestos podrá ser sancionado por la vía penal.

Con la nueva reforma de *outsourcing* en materia de subcontratación es contemplada una serie de cumplimientos en materia de registros, controles y presentación de información de las empresas contratistas, es imprescindible que los empresarios conozcan las nuevas obligaciones ya que las sanciones aplican no sólo a la empresa que ofrece el servicio sino

también a las entidades que subcontraten o apliquen el beneficio, que dependiendo de su magnitud, la subcontratación de personal podría calificar como un delito de defraudación fiscal.

Palabras clave: Subcontratación, beneficio fiscal, evasión, impuestos.

ABSTRACT

Subcontracting in Mexico is an issue that has generated a lot of controversy since it had great benefits for many industries that used the scheme correctly, however, it has also been used by many businessmen as a way to evade and "saving" their obligations. ; as is the payment of profits to workers and the payment of worker-employer contributions to the Mexican Institute of Social Security and the Institute of the National Housing Fund for Workers. It was used as an authorized deduction for income tax and value added tax purposes, thus achieving a double tax benefit.

The level of exploitation of this figure has been such that in our country subcontracting has been considered by the tax authorities as a vulnerable activity. The reform that began in 2019 includes changes in the federal labor law, social security law, INFONAVIT law, federal tax code, value added tax law, income tax law, it also has repercussions on the federal law for the prevention and identification of operations with resources of illicit origin, better known as the anti-money laundering law, which is why it is considered a fiscal offense such as organized crime, therefore it also affected the federal law against organized crime, code national criminal procedures, national security law, federal criminal code and fiscal code of the federation.

Although the main topic of this article is labor reform in terms of subcontracting, legal, fiscal, social security and even criminal aspects will also be addressed, since a taxpayer who intends to abuse this scheme to pay less taxes may be sanctioned by the criminal way. With the new outsourcing reform in terms of subcontracting, it contemplates a series of compliances in terms of records, controls and presentation of information of the contractor companies, it is essential that the employers know the new obligations, since the sanctions

apply not only to the company that offers the service but also to the entities that subcontract or apply the benefit, which depending on its magnitude, the subcontracting of personnel could qualify as a crime of tax fraud.

Keywords: Subcontracting, fiscal benefit, evasion, taxes.

INTRODUCCIÓN

A principios de 2021 la secretaria del trabajo y previsión social (STPS) publicó que durante el primer operativo para supervisar el correcto cumplimiento de la Ley Federal del Trabajo, realizado en septiembre de 2019 en coordinación con el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Servicio de Administración Tributaria (SAT) la Procuraduría Fiscal, el INFONAVIT, la Unidad de Inteligencia Financiera (UIF), quedaron evidenciadas una serie de medidas que han afectado a millones de trabajadores en México. Mismos que eran privados de la participación de utilidades de la empresa, de recibir aguinaldo, prima vacacional, derecho a pertenecer a un sindicato y no generar antigüedad en sus empleos.

Las empresas revisadas, (se desconoce el número exacto de empresas revisadas, pero según la Secretaría de Trabajo y previsión social, se estimaban cerca de seis mil empresas que aplicaban un esquema de subcontratación abusiva) tenían bajo el esquema de subcontratación el 83% de su plantilla. El otro 17% tenía subcontratado al 95.5% de la plantilla. El 75% de los trabajadores eran registrados ante el IMSS con salarios menores a los reales. En algunos casos no estaban registrados en las actividades desempeñaban realmente, con el fin de bajar su prima de riesgo.

El 29% de las empresas inspeccionadas renovaba mensualmente el contrato a los trabajadores, provocando la incertidumbre de saber si el próximo mes tendrían empleo. Otro dato es que el 95% de las empresas inspeccionadas conseguía a sus trabajadores a través de entre 3 y 6 empresas contratistas, las cuales fungían como intermediarias para evadir ciertas obligaciones (Secretaría de Trabajo y Previsión Social, Comunicado 0001/2021)

El *outsourcing* es una tendencia actual que ha formado parte importante de las decisiones administrativas de los últimos años de muchas de las empresas nacionales e internacionales (Alvarado Hernández, 2013) En los últimos años ha tenido cambios importantes despertando el interés de diferentes profesionistas: Contadores, abogados y fiscalistas. ¿Cuáles son los factores que detonaron la evolución de la subcontratación en México en los últimos años? Para dar respuesta a este cuestionamiento, se analizaron artículos publicados en diferentes medios y que fueron escritos por diferentes expertos en la materia.

Este trabajo de investigación pretende analizar y dar a conocer las reformas en materia fiscal a cerca de la subcontratación, así como todos los aspectos legales y laborales que implican estos cambios y cómo dar un correcto cumplimiento con base en la nueva reforma. Algunas empresas lo empezaron a implementar como un esquema de evasión fiscal para dejar de cumplir con sus obligaciones tributarias ante el IMSS, Infonavit y el SAT, generando repercusiones tanto para las autoridades fiscales como para los trabajadores que son el sector más perjudicado ya que son violados sus derechos que les corresponden por ley.

El interés por analizar este régimen y sus ilegalidades surge para concientizar a todos los trabajadores sobre sus derechos contemplados en la constitución política mexicana así como en las leyes que de ella emanan, además de concientizar a los empresarios a cerca de las infracciones y multas a las que se pueden hacer acreedores por un mal manejo y cumplimiento en materia laboral ya que la subcontratación es considerada como una actividad vulnerable y derivado de las modificaciones al código fiscal y penal hoy en día se considera como defraudación fiscal y la pena para este delito es la cárcel.

SUBCONTRATACIÓN LABORAL

El artículo 12 de la Ley Federal del Trabajo (2022) define lo que se entiende por subcontratación de la siguiente manera;

“... entendiéndose ésta cuando una persona física o moral proporciona o pone a disposición trabajadores propios en beneficio de otra”

De lo anterior pueden surgir muchas dudas ya que la definición es muy general, podemos resumir que la subcontratación es cuando una persona física o moral por medio de un contrato pone a disposición de otra persona física o moral trabajadores para que esta última se beneficie de ellos, sin embargo, es importante hacer notar que la subcontratación como tal quedó prohibida con la nueva reforma laboral que entró en vigor el 23 de abril de 2021.

“Queda prohibida la subcontratación de personal, entendiéndose ésta cuando una persona física o moral proporciona o pone a disposición trabajadores propios en beneficio de otra” (Pérez Chávez y Fol Olguín, 2022),

Permitiéndose la subcontratación especializada, esto es, cuando no forma parte del objeto social ni de la actividad económica preponderante de la empresa beneficiaria, como lo menciona el artículo 13 de la Ley Federal del Trabajo:

“Se permite la subcontratación de servicios especializados o de ejecución de obras especializadas que no formen parte del objeto social ni de la actividad económica preponderante de la beneficiaria de éstos, siempre que el contratista esté registrado en el padrón público a que se refiere el artículo 15 de esta Ley”.

Se debe destacar que los contratistas se deben registrar ante un padrón público y se debe acreditar el carácter especializado de su servicio por medio de la información y documentación relacionada con la capacitación, certificaciones, tecnología, activos, maquinaria, nivel de riesgo, rango salarial promedio y experiencia en el servicio, además de contar con el contrato escrito que debe tener número de su registro ante el padrón de prestadores de servicios especializados (Pérez Chávez y Fol Olguín, 2022).

La subcontratación es una posibilidad para que las empresas deleguen en manos de los expertos, actividades que no están relacionadas con el giro principal del negocio, ya que requieren de tiempo para enfocarse en la operación y crecimiento del mismo, reducir costos, mantener su liderazgo, entre otras tareas, dando oportunidad a que el contratista, brinde sus servicios especializados, quien debe cumplir con algunos requisitos: registrarse ante el padrón público REPSE (Registro de prestadores de servicios especializados u obras

especializadas) renovar su registro cada cuatro años, tener debidamente los contratos con quienes reciben los servicios, informar trimestralmente sobre los contratos celebrados para efectos del IMSS e INFONAVIT.

Por otro lado el contratante tiene la responsabilidad de investigar a quienes le brindaran los servicios ya que es responsable solidario con ellos en caso de que no cumplieran con sus obligaciones fiscales, además de vincular directamente con defraudación fiscal a quienes no cumplan con las disposiciones de la ley federal del trabajo y que empleen el *outsourcing* de una manera diferente a las leyes y la pena de cárcel contenida en artículo 108 del código fiscal, además de cuantiosas multas, esto se hizo para tener más control sobre las actividades de los contratistas y evitar que se siga utilizando a la subcontratación como medio de evasión fiscal.

EL EFECTO FISCAL DE LA REFORMA AL OUTSOURCING

La reforma legal realizada en torno a la subcontratación laboral ocasiona que se hayan modificado diversos ordenamientos de carácter fiscal, como lo es el Código Fiscal de la Federación (CFF), la Ley del Impuesto Sobre la Renta (LISR) y la Ley del Impuesto al Valor Agregado (LIVA)

La reforma a los tres ordenamientos fiscales está contenida en el Artículo Primero Transitorio del Decreto de reformas y entró en vigor a partir del 1º de agosto de 2021. También se adicionó el artículo 15-D del CFF donde se establece que no tendrá efecto fiscal ni de deducción como de acreditamiento, los pagos realizados cuando se subcontrate personas que desarrollen actividades del giro preponderante del contratante o que estén relacionadas con el objeto social de la empresa.

Tampoco se darán efectos fiscales de deducción o acreditamiento a los servicios en los que se proporcione o ponga personal a disposición del contratante, cuando se actualice cualquiera de los siguientes supuestos:

“I. Cuando los trabajadores que el contratista proporcione o ponga a disposición del contratante, originalmente hayan sido trabajadores de este último y hubieren sido transferidos al contratista, mediante cualquier figura jurídica, y

II. Cuando los trabajadores que provea o ponga a disposición el contratista abarquen las actividades preponderantes del contratante”.

En cuanto a los pagos o contraprestaciones por subcontratación de servicios especializados o la ejecución de obras especializadas, que no formen parte del objeto social ni de la actividad económica preponderante de la beneficiaria de los mismos, serán deducibles para ISR y acreditable el IVA respectivo, siempre que el contratista cuente con el registro en la STPS, a que se refiere el artículo 15 de la Ley Federal del Trabajo, y se cumplan con los demás requisitos establecidos para tal efecto en la Ley del Impuesto sobre la Renta y en la Ley del Impuesto al Valor Agregado, respectivamente.

Los servicios u obras complementarias o compartidas prestadas entre empresas de un mismo grupo empresarial también serán considerados como especializados siempre y cuando no formen parte del objeto social ni de la actividad económica preponderante de la empresa que los reciba.

Deducción y acreditamiento fiscal

Las reformas al código fiscal entraron en vigor a partir del 1 de agosto de 2021 como se muestra a continuación:

“PRIMERO TRANSITORIO. El presente Decreto entrará en vigor el día siguiente al de su publicación en el Diario Oficial de la Federación, con excepción de lo previsto en los Artículos Cuarto, Quinto y Sexto (CFF, LISR, LIVA) del presente Decreto, que entrarán en vigor el 1 de agosto de 2021 y lo previsto en los Artículos Séptimo y Octavo (sector Gobierno) del presente Decreto entrarán en vigor en el ejercicio fiscal 2022”.

La adición al código fiscal está en el artículo 15 la fracción D en donde se establecen los requisitos para la deducción y acreditamiento para efectos de subcontratación,

mencionando principalmente que no tendrán efectos fiscales las operaciones de subcontratación que estén relacionadas con el objeto social del contratante, además nos dice que tampoco se dará efecto fiscal cuando se actualicen cualquiera de los siguientes supuestos:

“I. Cuando los trabajadores que el contratista proporcione o ponga a disposición del contratante, originalmente hayan sido trabajadores de este último y hubieren sido transferidos al contratista, mediante cualquier figura jurídica, y

II. Cuando los trabajadores que provea o ponga a disposición el contratista abarquen las actividades preponderantes del contratante”.

Estas disposiciones son un candado para que no haya un mal manejo de outsourcing, ya que la primera fracción contempla a los contribuyentes que, aprovechando este esquema, trasladan parte de su planilla de trabajadores a la contratista para así dejar de tener la obligación de pagar sus prestaciones de seguridad social y evitar las cargas administrativas.

La segunda fracción señala a los contribuyentes que de igual forma tienen la mayor parte de su planilla de trabajadores bajo este esquema y estos abarcan la mayoría de las actividades del contratante para así este no tener ninguna responsabilidad con los empleados como es asegurarlos, pagarles utilidades, aguinaldo, vacaciones, también para vulnerar los derechos sindicales, etc.

Solamente pagando el precio de una contraprestación por los servicios prestados por la contratista que generalmente consisten en el salario de los trabajadores, más contribuciones de seguridad social, más un 5% por gastos de administración según la revista IDC. Además, el mismo artículo 15 establece como requisito para la deducción y el acreditamiento, los parámetros y lineamientos de la ley federal del trabajo vistos con anterioridad.

Se adiciona un tercer párrafo a la fracción V del artículo 27 de la Ley del ISR para establecer como requisitos para deducir para efectos de ISR los pagos que el contratante haga por concepto de la prestación de servicios especializados o de la ejecución de obras especializadas, a los siguientes:

“1.- Que el contratante verifique cuando se efectúe el pago de la contraprestación por el servicio recibido, que el contratista cuente con el registro en la STPS.

2.- Que el contratante obtenga del contratista copia de los siguientes documentos:

a) De los comprobantes fiscales por concepto de pago de salarios de los trabajadores con los que le hayan proporcionado el servicio o ejecutado la obra correspondiente.

b) Del recibo de pago expedido por institución bancaria por la declaración de entero de las retenciones de impuestos efectuadas a dichos trabajadores.

c) Del pago de las cuotas obrero-patronales al Instituto Mexicano del Seguro Social, así como del pago de las aportaciones al Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores”.

Dicha disposición establece la obligación para el contratista de entregar al contratante los comprobantes y la información antes mencionados.

EL IVA EN LA SUBCONTRATACIÓN

Se adiciona un segundo párrafo a la fracción II del artículo 5 de la Ley del IVA para establecer como requisitos para acreditar el IVA, en el caso de los pagos que el contratante haga por concepto de la prestación de servicios especializados o de la ejecución de obras especializadas, a los siguientes:

“1.- Que el contratante verifique cuando se efectúe el pago de la contraprestación por el servicio recibido, que el contratista cuente con el registro en la STPS.

2.- Que el contratante obtenga del contratista copia de los siguientes documentos:

a) De la declaración del impuesto al valor agregado.

b) Del acuse de recibo del pago correspondiente al periodo en que el contratante efectuó el pago de la contraprestación y del impuesto al valor agregado que le fue trasladado”.

A su vez, el contratista estará obligado a proporcionar al contratante copia de la documentación mencionada, la cual deberá entregarse a más tardar el último día del mes

siguiente a aquél en el que el contratante haya efectuado el pago de la contraprestación por el servicio recibido y el impuesto al valor agregado que se le haya trasladado. En caso de que el contratante no recabe la documentación antes citada en el plazo señalado, deberá presentar declaración complementaria en la cual disminuya los montos que hubiera acreditado por dicho concepto.

Se adiciona un tercer párrafo al artículo 4 de la Ley del IVA para establecer que no será acreditable el impuesto que se traslade por los servicios siguientes:

“1.- Por la subcontratación de personal para desempeñar actividades relacionadas tanto con el objeto social como con la actividad económica preponderante del contratante.

2.- Por la contratación de servicios en los que se proporcione o ponga personal a disposición del contratante, cuando se actualice cualquiera de los siguientes supuestos:

I. Cuando los trabajadores que el contratista proporcione o ponga a disposición del contratante, originalmente hayan sido trabajadores de este último y hubieren sido transferidos al contratista, mediante cualquier figura jurídica.

II. Cuando los trabajadores que provea o ponga a disposición el contratista abarquen las actividades preponderantes del contratante”.

DEFRAUDACION FISCAL CALIFICADA

Se adiciona un nuevo supuesto por el cual el delito de defraudación fiscal y el de defraudación fiscal equiparada serán calificados, y así en un inciso i) del artículo 108 del CFF, se contempla como supuesto el que tales delitos se originen por alguna de las siguientes situaciones:

“1.- Por utilizar esquemas simulados de prestación de servicios especializados o la ejecución de obras especializadas.

2.- Por realizar la subcontratación de personal para desempeñar actividades relacionadas tanto con el objeto social como con la actividad económica preponderante del contratante.

3.- Por realizar la contratación de servicios en los que se proporcione o ponga personal a disposición del contratante, cuando se actualice cualquiera de los siguientes supuestos:

I. Cuando los trabajadores que el contratista proporcione o ponga a disposición del contratante, originalmente hayan sido trabajadores de este último y hubieren sido transferidos al contratista, mediante cualquier figura jurídica.

II. Cuando los trabajadores que provea o ponga a disposición el contratista abarquen las actividades preponderantes del contratante”.

Resaltando que la consecuencia de que un delito fiscal sea considerado como calificado, significa que la pena que corresponda por el delito se aumentará en una mitad.

SANCIONES PARA QUIEN NO CUMPLE CON LAS NUEVAS DISPOSICIONES EN MATERIA LABORAL Y FISCAL

Las sanciones en materia de subcontratación por no cumplir con las nuevas disposiciones legales se encuentran en rangos muy elevados si consideramos el valor de la unidad de medida y actualización (UMA) llegando a superar los cuatro millones de pesos.

CONCLUSIONES

La reforma de subcontratación exige a los empresarios un conocimiento amplio en la materia para la aplicación de las diferentes leyes que se modificaron a raíz de una estructura mal llevada del *outsourcing*, las empresas operativas y de producción deben contratar directamente a todo el personal necesario para llevar a cabo su actividad económica principal y/o las actividades que estén contempladas como su objeto social según sus estatutos societarios.

Las agencias de empleo que intervienen en el proceso de contratación de personal pueden participar en el reclutamiento, selección y capacitación, pero no pueden ser considerados patrones, ya que dicha capacidad recae en la persona física o moral que se beneficia de los servicios prestados.

La reforma tiene implicaciones importantes, no solo para efectos laborales y fiscales como el impuesto sobre la renta y el impuesto al valor agregado, sino también para las aportaciones de seguridad social, y en diferentes áreas legales como derecho corporativo, administrativo entre otras; por lo tanto, debe manejarse bajo un enfoque integral que cubra todas estas áreas, generando un control de revisión más estricto, que inicia desde la revisión del objeto social de la empresa, para evitar subcontratar alguna actividad contenida en el acta constitutiva, que dicho sea de paso, en algunas empresas este catálogo es muy amplio.

Revisar el debido cumplimiento del prestador de servicios, que se encuentre registrado en el REPSE, cumplir con la presentación de su información ante la autoridad con la periodicidad que señala la ley, que se encuentre al corriente de sus obligaciones fiscales y de sus aportaciones de seguridad social, ya que, de no cumplir con los lineamientos establecidos, las penas económicas son muy fuertes sin dejar de lado la sanción de legal que conlleva el delito de delincuencia organizada.

Referencias bibliográficas

Alvarado Hernández, S. A. (2013). Régimen de subcontratación (outsourcing), ¿Sombra de la seguridad social? Facultad de Contaduría y Administración. Fecha de consulta: 1 de junio 2022

[Código Fiscal de la Federación de la Federación el 31 de diciembre de 1981 \(CFF\) - Legislación mexicana 2021 \(leyes-mx.com\)](#) Decreto que modifica la subcontratación en México, [En línea]. Disponible en: [DOF - Diario Oficial de la Federación](#) Fecha de consulta: 2 de junio 2022

Ley Federal del Trabajo.
diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Ley_Federal_del_Trabajo.pdf

Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Ley_Federal_del_Trabajo.pdf Fecha de consulta: 30 de mayo 2022

Ley del Impuesto al Valor Agregado 2022. [Ley del Impuesto al Valor Agregado \(www.gob.mx\)](http://www.gob.mx)

Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/715901/LEY_DEL_IMPUESTO_AL_VALOR_AGREGADO.pdf Fecha de consulta: 3 de junio 2022

Ley del Impuesto sobre la Renta 2022 diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf
Disponible en: <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LISR.pdf> Fecha de consulta: 3 de junio 2022

Ley del Instituto Mexicano del Seguro Social 2022
imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/leyes/LSS.pdf
<https://www.imss.gob.mx/sites/all/statics/pdf/leyes/LSS.pdf> Fecha de consulta: 31 de mayo 2022

Ley del instituto del fondo nacional de la vivienda para los Trabajadores 2022
diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIFNVT.pdf Disponible en:
<https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LIFNVT.pdf> Fecha de consulta: 31 de mayo 2022

Operativo de la Secretaría de Trabajo y previsión social para verificar el correcto cumplimiento de las obligaciones patronales, [En línea]. Disponible en:
[COMUNICADO 0001/2021 | Secretaría del Trabajo y Previsión Social | Gobierno | gob.mx \(www.gob.mx\)](http://COMUNICADO 0001/2021 | Secretaría del Trabajo y Previsión Social | Gobierno | gob.mx (www.gob.mx)) Fecha de consulta: 1 de junio 2022

Pérez Chávez, J., Fol Olguín, R. (2022). Guía Práctica laboral y de seguridad social. (Décima edición). México: Ed. Tax Editores Unidos, S.A. de C.V. P. 231- 232

Registro de Prestadoras de Servicios Especializados u Obras Especializados REPSE STPS
Disponible en: <https://repse.stps.gob.mx/> Fecha de consulta: 1 de junio 2022

Ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje durante la Covid-19

Anxiety produced by the lack of resources for learning during Covid-19

José María Guajardo Espinoza¹
María Teresa Rivera Morales¹
Angela Gabriela Molina Arriaga¹
Yaralin Aceves Villanueva²

¹ Facultad de Psicología Unidad Saltillo de la Universidad Autónoma de Coahuila
Blvd. V. Carranza s/n. ... Col. República Oriente C.P.25280 Saltillo, Coah. México

² Facultad de Pedagogía e Innovación Educativa, Universidad Autónoma del Estado de
Baja California
Avenida Monclova y Rio Mocerito S/N Ex-Ejido Coahuila C.P.21280 Mexicali, Baja
California, México

Autor de correspondencia
María Teresa Rivera Morales, correo electrónico:
teresa.rivera@uadec.edu.mx

Resumen

El objetivo del artículo es conocer la relación entre la percepción del aislamiento escolar y la ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje. Se utilizó un diseño transversal y correlacional, así como un muestreo no probabilístico en el que participaron 875 estudiantes universitarios del estado de Coahuila México. Los resultados muestran que sentirse aislado de entornos académicos se relaciona con el incremento de elementos que generan ansiedad educativa, y el nivel de ansiedad generalizada. De igual forma, se observa que la inexperiencia de los docentes y el uso inapropiado de espacios virtuales para clase aumenta el nivel de ansiedad educativa en mujeres. Debido a esto, se resalta la importancia del regreso oportuno y seguro a espacios físicos de aprendizaje.

Palabras clave

Ansiedad, carencia de recursos, alumnos universitarios, COVID-19

Abstract

The objective of the article is to know the relationship between the perception of school isolation and the anxiety produced by the lack of resources for learning. A transversal and correlational design was used, as well as a non-probabilistic sampling in which 875 university students from the state of Coahuila México participated. The results show that feeling isolated from academic environments is related to the increase in elements that generate educational anxiety, and the level of generalized anxiety. Similarly, it is observed that the inexperience of teachers and the inappropriate use of virtual spaces for class increases the level of educational anxiety in women. Due to this, the importance of timely and safe return to physical learning spaces is highlighted.

Keywords

Anxiety, lack of resources, university students, COVID-19

Introducción

La pandemia de COVID-19 generó un giro en la educación en todos los niveles educativos interrumpiendo la cotidianeidad con el cese temporal de actividades presenciales y la migración repentina a la modalidad virtual, lo cual generó en los estudiantes alteraciones de tipo emocional, como es la ansiedad (Miguel, 2020; Chávez, 2021; Sigüenza y Vélchez, 2021).

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) los trastornos de ansiedad (TA) se refieren a un grupo de trastornos mentales caracterizados por sentimientos

de ansiedad y miedo, incluido el trastorno de ansiedad generalizada (TAG), trastorno de pánico, fobias, trastorno de ansiedad social, trastorno obsesivo-compulsivo (TOC) y trastorno de estrés postraumático (TEPT) (WHO, 2017).

Por su parte, la ansiedad académica es una respuesta a diversos estímulos o situaciones estresantes del entorno académico (Hooda & Saini, 2017). Esta respuesta tiende a afectar la calidad de los aprendizajes ya que el estudiante destina sus procesos cognitivos no solo en el aprendizaje sino también en pensamientos irrelevantes centrados en sí mismo, ocasionando una pérdida de la eficiencia cognitiva (Castillo y col., 2021).

A nivel internacional, Sigüenza y Vélchez (2021) realizaron un estudio sobre el aumento de los niveles de ansiedad en estudiantes universitarios durante la época de pandemia de la COVID-19 en Ecuador, el cual fue de tipo cuantitativo, exploratorio, descriptivo y transversal. La población fue de 66 estudiantes de psicología y enfermería de la Universidad Técnica Particular de Loja, a quienes aplicaron un pre y post-test de la escala de Ansiedad Manifiesta para universitarios AMAS-C dando como resultado que la ansiedad de los universitarios aumentó 2,59 puntos durante la pandemia de COVID-19, con relación a la media del pre-test antes del confinamiento.

A su vez, Chung y col, (2021) llevaron a cabo un estudio en Bolivia de tipo analítico de corte transversal no probabilístico por conveniencia; con la finalidad de determinar los niveles de ansiedad en los estudiantes de medicina y fisioterapia de la Universidad Cristiana de Bolivia aplicaron una encuesta a 337 estudiantes obteniendo como resultados que el 48,37 % (n = 163) de los estudiantes presentaron ansiedad leve, un 20,18 % (n = 68) ansiedad leve a moderada, un 11,87 % (n = 40) ansiedad moderada a grave, y un 19,58 % (n = 66) ansiedad muy grave. Concluyeron que la nacionalidad, el año académico y si viven solos o no, no son factores de riesgo; sin embargo, destacan que el sexo de los estudiantes tiene una relación con los niveles de ansiedad, ya que los resultados arrojaron que las mujeres presentaron mayores niveles de ansiedad grave que los varones ($p = 0,017$).

Por su parte, Castillo y col., (2021) realizaron una investigación en Chile de tipo cuantitativo, no experimental y de corte transversal, con el propósito de caracterizar la ansiedad al aprendizaje en línea a través de la dimensión homónima del *Online Learning*

Strategies Scale en una muestra de 192 estudiantes universitarios para examinar los factores determinantes. Los resultados indican que la ansiedad al aprendizaje en línea se relaciona de forma negativa con las actitudes hacia el tipo de modalidad (virtual), la salud mental auto percibida y la calidad de la conectividad. Un dato relevante es que las mujeres reportaron mayor ansiedad que los hombres.

Rosario y col., (2020) llevaron a cabo un estudio no experimental transversal exploratorio-descriptivo en Puerto Rico, con el propósito de conocer las demandas tecnológicas, académicas, y psicológicas experimentadas durante la pandemia por COVID-19; para ello se aplicó un formulario que abordaba las características sociodemográficas, un cuestionario de elaboración propia para explorar de forma general las demandas tecnológicas y psicológicas que experimentaron los estudiantes en la educación virtual y una escala que mide la ansiedad basada en el COVID-19 a una muestra de 167 estudiantes universitarios activos de 17 instituciones de educación superior. Los resultados indican que los estudiantes presentaron problemáticas relacionadas a estresores por la sobrecarga de tareas, mala implementación de cursos en línea, carencia de orientación de sus universidades, poca flexibilidad de sus profesores, entre otras.

A nivel nacional también se han realizado diversas investigaciones sobre el tema, López y col., (2021) en un estudio realizado identificaron 15 trabajos de investigación en México, los cuales se pueden categorizar en cinco líneas temáticas: a) Acceso y uso de las Tecnologías de la Información y Comunicación(TIC) b)Medidas preventivas ante Covid-19 en el ámbito escolar, b)Factor emocional, relacionado con el manejo de su inteligencia emocional e identificación de patologías clínicas como ansiedad, estrés, miedo, frustración, incertidumbre, desesperación, c)Ámbito económico, la cual tiene que ver con la preocupación sobre el mercado de trabajo y la pérdida de empleo de los universitarios, ya sea por parte de los estudiantes o algún miembro de la familia, y d) Estudios de género y colectividad, en donde se ha vislumbrado que las mujeres manifiestan mayores efectos diferenciales en diversos aspectos, especialmente en su salud mental y física, en comparación con los varones.

Miguel (2020) implementó un estudio en Oaxaca de tipo mixto para conocer el sentir, las adversidades, las competencias a desarrollar y retos que enfrentaron los estudiantes, docentes y administrativos universitarios por la migración de las clases presenciales a virtuales. Se aplicó un cuestionario semiestructurado digital a una muestra no probabilística de conveniencia, constituida por 34 docentes, 76 estudiantes de diferentes licenciaturas y tres administrativos y entrevistas a estudiantes y docentes de educación superior. Los resultados apuntan que el principal sentir de los estudiantes ante los cambios que implicó el ajuste de clases presenciales a virtuales fue de malestar, inconformidad y estrés; por el contrario, los docentes manifestaron sentirse bien y cómodos, señalaron que las herramientas tecnológicas coadyuvaban para hacer frente a la contingencia sanitaria; los administrativos a nivel coordinaciones mencionaron sentir un ambiente de confianza, en cambio, a nivel vicerrectoría expresaron sentir una aglomeración de nuevas actividades.

Por otro lado, dentro del mismo estudio se precisa que los obstáculos más frecuentes para los estudiantes son: falta de comunicación entre maestro-alumno, problemas de conectividad y mala organización; las respuestas de los docentes coincidieron con el problema de la conectividad, la actitud del estudiante, la comunicación y la interacción; a su vez, la administración indicó que el mayor problema fue la resistencia al cambio por parte de estudiantes. A su vez, entendiendo que todo reto deja aprendizajes, los alumnos expresaron que durante la pandemia desarrollaron las competencias de organización, autoaprendizaje y habilidades tecnológicas; los docentes indicaron haber desarrollado competencias digitales y estrategias didácticas contextualizadas a la naturaleza de las clases virtuales; a su vez, los administrativos afirman haber fortalecido sus habilidades de organización, trabajo colaborativo, dominio de las herramientas digitales y mejor administración del tiempo.

Dicho estudio también permitió recoger los retos que los diferentes actores experimentaron durante la migración de las clases presenciales a la virtualidad concluyendo los alumnos que el mayor reto fue un mayor conocimiento digital, la comprensión lectora, y el ajuste de horarios; los docentes señalaron que los retos fueron: el despertar interés, la falta de herramientas tecnológicas de los alumnos, comprobar el aprendizaje del alumno, y la organización de actividades; los administrativos señalaron que el mayor reto fue implementar

un conjunto de TIC enfocadas en dar soporte, seguimiento y resultados en las clases a distancia, capacitar a los docentes en el uso de TIC, y difundir la importancia del uso combinado de TIC con clases en modalidad presencial que permitan tener destrezas en el uso de ambas.

Yela y col., (2021) llevaron a cabo un estudio de tipo exploratorio descriptivo en Puebla, cuyo objetivo fue indagar los retos educativos que han enfrentado estudiantes universitarios de instituciones públicas y privadas durante la pandemia a través de la aplicación a 48 estudiantes de la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla de un cuestionario que sondeaba aspectos de cinco categorías: tecnológicas, pedagógicas, logísticas, socioafectivas e institucionales. Los resultados indican que los principales retos son de orden tecnológico, debido a que el 26.6% de los estudiantes señalaron haber presentado dificultad de acceso y conectividad a internet, falta de equipo de cómputo personal y/o equipo adecuado para recibir sus clases a distancia, afectando en su aprendizaje (categoría pedagógica). En relación con la categoría socioafectiva se detectó que el 27.3% de los estudiantes manifiesta sentimientos de tristeza, frustración, ansiedad, cansancio, irritabilidad, estrés, sobresaturación de trabajo, falta de motivación y aburrimiento. Otros desafíos manifestados fueron la carencia de recursos económicos y problemáticas familiares derivados del confinamiento.

Por otra parte, Chávez (2021) llevo a cabo un estudio cuantitativo con el objetivo de evaluar el nivel de ansiedad generado en la pandemia del COVID-19 en los estudiantes universitarios del Estado de Chihuahua. Para ello, se aplicó la adaptación española del “Cuestionario de ansiedad estado-rasgo” STAI (*State-Trait Anxiety Inventory*) en su subescala ansiedad-estado en 1,460 estudiantes universitarios. Los resultados indicaron un nivel de ansiedad bajo en el 31.77% de los estudiantes. Los principales síntomas detectados fueron sentirse tenso, preocupado, oprimido, aturdido y alterado. En este mismo tenor, López y col., (2021) realizaron un estudio cualitativo con el objetivo de recuperar las opiniones que los jóvenes han construido en lo personal y escolar posterior a la pandemia, para ello se aplicaron entrevistas semiestructuradas organizadas en tres categorías: ámbito personal, ámbito escolar y COVID-19 a un grupo de 12 estudiantes del área de Humanidades, de la

Universidad Veracruzana. Los resultados se clasificaron en cuatro apartados: experiencias educativas, comunicación profesores-alumnos, desempeño de los profesores e información Covid-19.

De esta forma y base a estos antecedentes el presente artículo tiene por objetivo principal conocer la relación entre la ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje y la percepción de aislamiento en su ambiente educativo durante la contingencia por COVID-19, aunado a ello se describirán las relaciones que se establecen entre las fuentes de *carencias de recursos para el aprendizaje* y la *ansiedad* en alumnos universitarios.

MÉTODO

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo transversal descriptivo-correlacional con el objetivo de conocer la ansiedad producida por la carencia de recursos para el aprendizaje durante el confinamiento por la contingencia derivada por COVID-19.

Participantes

Se encuestó a 875 estudiantes universitarios del estado de Coahuila México, bajo un muestreo no probabilístico. De la suma total, el 29.71% dijeron ser hombres (260) y el 70.29% de ellos indicaron ser mujeres (615).

Instrumento

Se aplicaron dos instrumentos dentro del estudio, los cuales se detallan a continuación.

Inventario de Ansiedad de Beck, cuestionario de 21 preguntas con respuesta múltiple que mide el nivel de ansiedad actual en adultos y adolescentes. Cada pregunta tiene cuatro posibles respuestas: Nada en absoluto; Levemente (No me molesta mucho); Moderadamente (Fue muy desagradable, pero podía soportarlo), y Severamente (Apenas podía soportarlo).

Cuestionario de Ansiógenos educativos, es un cuestionario de 43 ítems, construido para evaluar el nivel de ansiogenia educativa. A mayor puntaje obtenido por suma simple, representa mayor nivel de ansiogenia. Del conjunto de variables se desprende un factor,

denominado *Carencia de recursos para el aprendizaje*, el cual está constituido por los atributos de *Espacio físico de clase inapropiado*, *Falta de experiencia del maestro*, *Falta de recurso económico*, *Falta de recursos para el aprendizaje* y *Espacio virtual de clase inapropiado*. La confiabilidad del instrumento es de 0.95.

Procesamiento

Las estrategias para dar cumplimiento a los objetivos son dos, una de relación y otra de contraste, con la estrategia de relación se obtuvieron las correlaciones Producto-Momento de Pearson (r Pearson) con un valor de p igual o menor a 0.05 de error, entre algunos de los atributos de la *Ansiogenia educativa* y la *Ansiedad*, para una suma de respondientes del instrumento de 875, a los que les corresponde una $r \geq a |0.066|$.

Para el contraste, se usa la prueba t de *Student* para grupos independientes con una certidumbre del 95% (alfa 0.05). Dicha estrategia es utilizada para describir las diferencias entre los alumnos y las alumnas que indicaron un grado de carencia de recursos para su aprendizaje.

RESULTADOS

A continuación, se exponen los resultados de los diferentes procedimientos para el análisis de los datos que apoyan el método para el cumplimiento de los objetivos. Se presentan los siguientes resultados en tablas que resumen la información obtenida mediante su narrativa, fundamentados con un instrumento que mide un factor de la *ansiogenia educativa*, del cual se obtiene un resumen de estadísticas de la escala, que arroja un sesgo de -0.357, una curtosis de -0.257, un promedio de correlaciones entre reactivos de 32.3 y un alfa de Cronbach de 0.9524.

Tabla 1
Relación entre el Espacio físico de clase inapropiado como fuente de ansiedad y los atributos del Inventario de Ansiedad de Beck

Atributos de la ansiedad	Espacio físico de clase inapropiado
Acalorado	0.130
Latidos del corazón fuertes	0.123
Con sudores (fríos o calientes)	0.127
Que tan aislado (a) te sientes en los ambientes educativos	0.106

Nota: Elaboración propia, 2021

En la tabla 1, se observan las relaciones de un elemento que genera ansiedad en los alumnos universitarios, el espacio físico inapropiado para las clases, dicha situación está vinculada con síntomas de ansiedad; lo que indica que, cuando se incrementa la precepción de un espacio físico inapropiado para recibir las sesiones clase, se incrementan los síntomas de acaloramiento, taquicardias y sudoración; asimismo dicha percepción sobre los espacios favorece también la percepción de aislamiento en los ambientes educativos.

Tabla 2

Relación entre la Falta de experiencia del maestro como fuente de ansiedad y los atributos del Inventario de Ansiedad de Beck

Atributos de la ansiedad	Falta de experiencia del maestro
Que tan aislado (a) te sientes en los ambientes educativos	0.123

Nota: Elaboración propia, 2021

En la Tabla 2, se expone la relación entre la falta de experiencia de los docentes universitarios y la aparición de sensación de aislamiento de los estudiantes en los ambientes educativos; esto es que, cuando se muestra la poca experiencia docente a los enseñantes, se incrementa la sensación de aislamiento de los aprendientes.

Tabla 3

Relación entre la Falta de recurso económico como fuente de ansiedad y los atributos del Inventario de Ansiedad de Beck

Atributos de la ansiedad	Falta de recurso económico
Con sensación de ahogo	0.108
Con temor a morir	0.113
Con miedo	0.116
Con desvanecimientos	0.127
Que tan aislado (a) te sientes en los ambientes educativos	0.119

Nota: Elaboración propia, 2021

En la tabla 3 se observa cómo un elemento de la carencia de recursos para el aprendizaje, específicamente la falta de recurso económico genera ansiedad en entornos educativos, este atributo se relaciona con la sensación de ahogo, temores a morir, miedo generalizado y desvanecimientos

Del mismo modo, la carencia de recurso económico se vincula con la percepción de estar solo en ambientes educativos.

Tabla 4

Relación entre la Falta de recursos para el aprendizaje como fuente de ansiedad y los atributos del Inventario de Ansiedad de Beck

Atributos de la ansiedad	Falta de recursos para el aprendizaje
Con temor a que ocurra lo peor	0.132
Atemorizado	0.122
Con temor a morir	0.159
Con miedo	0.142
Con sudores (fríos o calientes)	0.112
Que tan aislado (a) te sientes en los ambientes educativos	0.159
ANSIEDAD GENERAL	0.122

Nota: Elaboración propia, 2021

En la tabla anterior se observa que la carencia de objetos de aprendizaje como recursos para aprender, se relacionan con la manifestación de temores y manifestaciones físicas como síntomas de ansiedad, así como la sensación de estar solo en entornos educativos.

Tabla 5

Relación entre el Inventario de Ansiedad de Beck y la Perspectiva de aislamiento escolar

Atributos de la ansiedad	Perspectiva de aislamiento escolar
Temblor en las piernas	0.118
Latidos del corazón fuertes	0.138
Atemorizado	0.189
Temblores en las manos	0.159
Con miedo a perder el control	0.138
Con sensación de ahogo	0.138

Con temor a morir	0.125
Con miedo	0.158
Con problemas digestivos	0.109
Con sudores (fríos o calientes)	0.117
Edad	-0.144
Ansiogenia	0.301
Ansiedad	0.155

Nota: Elaboración propia, 2021

En la tabla 5, se puede observar que, cuando aumenta la percepción de los alumnos universitarios de estar solos en ambientes educativos, se incrementan los síntomas de ansiedad, particularmente temblores, taquicardias, los temores y miedos, y los relacionados con la digestión y la sudoración.

Igualmente, al aumentar esta percepción, disminuye la edad de los alumnos que estudian en la universidad

De la misma manera, la percepción de sentirse aislado de entornos académicos se relaciona con el incremento de elementos que generan ansiedad educativa, así como, con el nivel de ansiedad generalizada.

Tabla 7
Contrastación entre Mujeres y Hombres respecto a la Ansiogenia por Carencia de recursos para el aprendizaje

Atributos de la Carencia de recursos para el aprendizaje	Media Mujer	Media Hombre	Valor t	df	p
Espacio físico de clase inapropiado	1.47967*	1.18461	3.75577	873	0.00018
Falta de experiencia del maestro	1.51869*	1.19230	4.12684	873	0.00004
Falta de recurso económico	1.64065	1.56153	0.97349	873	0.33057
Falta de recursos para el aprendizaje	1.63089	1.476923	1.93312	873	0.05354
Espacio virtual de clase inapropiado	1.48617*	1.15384	4.23270	873	0.00002

Nota: Elaboración propia, 2021

En la tabla 7, se observa la contrastación entre alumnos, y respecto a los elementos de Ansiogenia educativa, referentes a las carencias para aprender, en esta tabla, se puede leer que las mujeres presentan mayor ansiedad por los espacios en donde se da el aprendizaje, como los físicos y los virtuales; del mismo modo, a ellas le genera más ansiedad las expresiones de escasa experiencia para enseñar de sus docentes.

Respecto a la falta de recursos, tanto de aprendizaje como económicos, la ansiedad que esto pudiera generar en los alumnos universitarios se presenta de igual manera en los alumnos, no habiendo diferencia entre ellos al respecto.

DISCUSIÓN

Como parte de los resultados presentados en esta investigación, los estudiantes universitarios sostienen que los espacios inapropiados para el aprendizaje son generadores de síntomas de ansiedad, similar a lo que muestran Castillo y col., (2021) al mencionar en sus resultados que la ansiedad al aprendizaje en línea se relaciona de forma negativa con las actitudes hacia el tipo de modalidad virtual, también como lo menciona Miguel (2020); sin embargo los docentes manifestaron sentirse bien y cómodos puesto que las herramientas tecnológicas coadyuvan al proceso de aprendizaje en línea; sin embargo, en los resultados aquí mostrados es importante complementar con lo que Miguel (2020) menciona, que el mero uso de tecnología no es suficiente, sino que el docente debe presentar adecuados objetos de aprendizaje a los estudiantes, de lo contrario, se corre el riesgo de que éstos manifiesten síntomas de ansiedad.

Yela y col., (2021) además de detectar manifestaciones de ansiedad en ambientes educativos por parte de los estudiantes que encuestaron, indican que otro de los desafíos en los ambientes de aprendizaje es la carencia de los recursos económicos derivados del confinamiento, similar a lo que esta investigación presenta, en donde se muestra que los estudiantes universitarios que presentan una carencia de este tipo de recursos, suelen manifestar falta de aire, temores y desvanecimientos así como una percepción de aislamiento de su ambiente educativo.

Finalmente, tanto Chung y col., (2021) como Castillo y col., (2021) evidencian que las mujeres reportan un mayor nivel de ansiedad en ambientes educativos en comparación con los hombres, mismo resultado que se presenta en esta investigación; por lo que esta aseveración brinda la oportunidad de realizar investigaciones en dirección a una línea de observación específica de las mujeres y aquellos factores que les producen ansiedad en ambientes de aprendizaje.

CONCLUSIONES

El trastorno de ansiedad es una característica que se ha venido presentando en los y las estudiantes universitarios; a raíz de la contingencia por COVID-19, en donde el escenario educativo acostumbrado a la presencialidad en espacios físicos tuvo que ser modificado, los procesos de desenvolvimiento académico de los estudiantes se transformaron acarreado consigo diferentes estados, uno de ellos la ansiedad.

La presente investigación, da muestra, de acuerdo con los resultados encontrados, de cómo elementos tales como el espacio físico que los estudiantes consideran inadecuado, pueden elevar el índice de ansiedad en ellos, sobre todo en grados escolares superiores manifestando síntomas como el ahogamiento el cual posiblemente intervenga en el desempeño académico de éstos. A su vez, los espacios inapropiados para el aprendizaje favorecen el aislamiento de los estudiantes dentro de los ambientes educativos, en donde la percepción que presentan de sentirse solos en el ambiente educativo es favorecida por la ausencia de objetos de aprendizaje que apoyen el aprendizaje, vinculándose con una alta percepción de sentir temor o miedo; es decir, que aunado a que los estudiantes se sienten ansiosos en espacios inapropiados para el aprendizaje, si el docente no presenta objetos de aprendizaje, el temor será mayor; por lo cual es de gran relevancia la tarea docente al momento de crear un ambiente educativo en el que los estudiantes encuentren fácilmente objetos que les permitan acceder al contenido y conformar su aprendizaje.

A su vez, la inexperiencia de los docentes que perciben los estudiantes genera aislamiento en el ambiente educativo de éstos, en donde la sensación de estar solo favorece el incremento de situaciones escolares que generan ansiedad.

De acuerdo con lo anterior, se puede concluir que el desempeño del docente en su responsabilidad de generar un ambiente de aprendizaje factible, donde de evidencia del manejo de los contenidos, así como su experiencia didáctica propiciará la disminución de la ansiedad en el estudiante, posiblemente por la reducción de la insertidumbre que genera la planeación del proceso enseñanza-aprendizaje.

Como factores externos, la carencia del recurso económico en los estudiantes, de acuerdo con los resultados obtenidos, favorece la manifestación de síntomas de ansiedad como: falta de aire, temores y desvanecimientos, así como la percepción de aislamiento en su ambiente educativo; por lo que, aunado a elementos dentro del ambiente de aprendizaje, también habrá de considerarse el recurso económico con el que cuenta el estudiante, de lo cual podrían desprenderse nuevas líneas de investigación.

Considerando la diferenciación del sexo, las estudiantes mujeres muestran claramente una mayor afectación de síntomas de ansiedad que los hombres en ambientes educativos tanto de forma física como virtuales, así como también logran ser más perceptivas antes la experiencia docente por lo que con ello también les produce mayores afectaciones de ansiedad en comparación con los hombres.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, se puede concluir que las carencias para aprender en los ambientes educativos universitarios son favorecidas por carencias de escenarios adecuados para el aprendizaje; la falta de recursos económico en los estudiantes; la ausencia de objetos de aprendizaje y la inexperiencia que los docentes pueden presentar. A su vez, el aislamiento en los ambientes educativos favorece la aparición de síntomas de ansiedad y de rechazo a los diferentes elementos en los escenarios de aprendizaje en los ambientes educativos.

Referencias

- Castillo, V., Cabezas, N., Vera, C., y Toledo, C. (2021). Ansiedad al aprendizaje en línea: relación con actitud, género, entorno y salud mental en universitarios. *Revista Digital de Investigación en Docencia Universitaria*, 15(1): 2-15. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.19083/10.19083/ridu.2021.1284> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022
- Chávez, I. L. (2021). Ansiedad en universitarios durante la pandemia de COVID-19: un estudio cuantitativo. *Psicumex*, 11(1): 1-26. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.36793/psicumex.v11i1.420> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

Chung, S.A., Rebollo, A., Quiroga, A., Paes I., y Yáñez, J. A. (2021). Factores de riesgo de ansiedad en estudiantes de Bolivia durante la pandemia de la COVID-19. *Revista Cubana de Farmacia*, 54(4): 198-203. [En línea]. Disponible en:

<https://doi.org/10.47993/gmb.v44i2.357> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

Hooda, M. & Saini, A. (2017). Academic anxiety: An overview. *Educational quest: An Int. J. of Education and Applied Social Science*, 8(3): 807-811 [En línea]. Disponible en:

<https://doi.org/10.5958/2230-7311.2017.00139.8> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

López, R., Hernández, D., y Ceballos, G. (2021). Juventud universitaria en tiempos de pandemia. Presentado en el VII Seminario Internacional sobre Estudios de Juventud en América Latina en septiembre de 2021 en Xalapa, Veracruz, México

Miguel, J. A. (2020). La educación superior en tiempos de pandemia: una visión desde dentro del proceso formativo. *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*, 50 (1): 13-40. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.48102/rlee.2020.50.ESPECIAL.95> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

Rosario, A., González, J. A., Cruz, A. y Rodríguez, L. M. (2020). Demandas Tecnológicas, Académicas y Psicológicas en Estudiantes Universitarios durante la Pandemia por COVID-19. *Revista Caribeña de Psicología*, Sección Especial COVID 19. 4(2): 176–185. [En línea]. Disponible en:

<https://doi.org/10.37226/rcp.v4i2.4915> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

Siguenza, W. G. y Vilchez, J. L. (2021). Aumento de los niveles de ansiedad en estudiantes universitarios durante la época de pandemia de la COVID-19. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 50(1): 271–284. [En línea]. Disponible en:

<http://scielo.sld.cu/pdf/mil/v50n1/1561-3046-mil-50-01-e931.pdf> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

World Health Organization. (2017) Depression and Other Common Mental Disorders. *Global Health Estimates*. 20(1): 71–84. [En línea]. Disponible:

<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/254610/WHO-MSD-MER-2017.2-eng.pdf> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

World Health Organization. (2020). Mental health and psychosocial considerations during the COVID-19. *World Health Organization*. 10(2): 27–38. [En línea]. Disponible:

<https://apps.who.int/iris/handle/10665/331490> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022

Yela, L. Y., Reyes, D., Olguín, A. Y. y Pulido, F. X. (2021). Desafíos educativos que enfrentan los estudiantes universitarios durante la pandemia COVID-19. *Revista Paraguaya de Educación a Distancia*. 2(1): 41–52. [En línea]. Disponible en:

<https://revistascientificas.una.py/index.php/REPED/article/view/2241> Fecha de consulta: 8 de marzo de 2022.

Ventajas de los aceros avanzados de alta resistencia en la disminución de consumo de combustible.

*Advantages of advanced high-strength steels in reducing fuel
consumption.*

¹ García-Guzmán Alejandra A., ² Soria-Aguilar, Ma. de Jesús*,

² Carillo-Pedroza, Francisco R., ³ García-Sánchez, Edgar O.

¹ Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Coahuila, Saltillo, Coahuila,
México.

² Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, Monclova, Coahuila,
México.

³ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Universidad Autónoma de Nuevo León, San
Nicolas de los Garza, Nuevo León, México.

Correspondencia para: Soria-Aguilar Ma. de Jesús, Correo electrónico:

ma.soria@uadec.edu.mx*

Resumen

El empleo de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS), toma relevancia por las altas propiedades y resistencia al impacto, en situaciones donde se compromete la seguridad de los ocupantes de un vehículo, además de la necesidad de disminuir el peso de estos, lo que redundará en menor consumo de combustible. Por tal motivo, se realizó la presente revisión, donde es posible constatar que el empleo de AHSS es acertado gracias a que la aplicación de tratamientos térmicos conduce al incremento de propiedades mecánicas, tales como la ductilidad y la resistencia, además de acortar los valores de peso de los vehículos, lo que conlleva a la reducción en el consumo de combustible, y por ende, a la disminución en la contaminación por emisión de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que beneficiará a generaciones futuras.

Palabras Clave: Aceros avanzados de alta resistencia, AHSS, reducción de consumo de combustible

Abstract:

Advanced high strength steels (AHSS), are being increasingly used in applications where the safety of the occupants of a vehicle is of vital importance. This, since they can offer a good combination of high strength and high toughness. Current requirements in the automotive industry involve apart from high mechanical strength the need to reduce the weight of steel components in order to reduce fuel consumption. For this reason, the present review was carried out, where it is possible to verify that the use of AHSS is correct thanks to the fact

that the application of thermal treatments leads to the increase of mechanical properties, such as ductility and resistance, in addition to reducing the weight values of vehicles, which leads to a reduction in fuel consumption, and therefore, to a decrease in pollution due to the emission of greenhouse gases into the atmosphere, which will benefit future generations.

Keywords: Steel, AHSS, strength.

Introducción

En la época actual, existe un crecimiento exponencial en la emisión de contaminantes a la atmósfera derivado de los combustibles que se emplean en la industria automotriz, los cuales originan un desprendimiento de dióxido de carbono (CO_2), lo que se ve reflejado en el efecto invernadero, el calentamiento global y, en consecuencia, en el desgaste de la capa de ozono. Dicha problemática, ha causado que el sector automotriz se vea en la necesidad de emplear materiales más competentes, resistentes y ligeros, y como consecuencia, se requiere un cambio en el enfoque particular del desarrollo tecnológico, para la generación de aceros avanzados de alta resistencia (AHSS). Estos aceros, son materiales prometedores para lograr una disminución en el empleo de combustible y un incremento en el rendimiento de los neumáticos, lo cual permite una disminución de emisión de contaminantes.

Los AHSS tienen alto grado de resistencia-conformabilidad en comparación con los aceros convencionales y se clasifican en aceros de primera, segunda y tercera generación. Los AHSS de primera generación se basan en su mayor parte en la fase ferrita, donde se encuentran los aceros doble fase (DP), los aceros de fase compleja (CP) y los aceros de plasticidad inducida

por transformación (TRIP). Los AHSS de segunda generación se distinguen por contener la fase de austenita estabilizada en su microestructura, se conforman por aceros ligeros con plasticidad inducida (L-IP), aceros por plasticidad inducida por maclaje (TWIP). Por último los AHSS de tercera generación son considerados una extensión mejorada de los aceros de primera generación, ya que, bajo la influencia de técnicas como el refinamiento de grano, mejoran sus propiedades mecánicas.

Por tanto, el presente artículo, se enfoca en un panorama generalizado de parámetros a considerar para la modificación de propiedades en aceros avanzados de alta resistencia, medidas que originan un cambio en la competencia tecnológica de la industria automotriz con un enfoque en la reducción de empleo de combustible y, en consecuencia, la disminución en la emisión de contaminantes como CO₂ y monóxido de carbono, principales causantes del efecto invernadero.

Antecedentes

En el sector automotriz, los aceros están clasificados en función de su resistencia, por ello se les identifica por aceros de baja resistencia, aceros dulces y aceros libres de elementos intersticiales (IF); aceros convencionales de alta resistencia (HSS) y aceros avanzados de alta resistencia (AHSS). Un reto trascendental para la industria siderúrgica es lograr que los automóviles cuenten con una mayor resistencia al impacto, de la mano con disminución de peso y menor consumo de combustible, y es donde se da la importancia al desarrollo de la categoría de aceros avanzados de alta resistencia (Nanda y col., 2016). Los AHSS cumplen el propósito en comparación de aceros convencionales, de mejorar la relación de resistencia-

conformabilidad, pero si se trata de superar el grado de conformabilidad de los aceros de baja aleación y alta resistencia (HSLA), se recurre a los AHSS de segunda generación, los cuales ofrecen una mejor relación resistencia-conformabilidad, pero requieren aumentar el costo por la adición de elementos de aleación (Mn, Ni etc.). Para disminuir este costo, se optó por desarrollar AHSS de tercera generación, los cuales cumplen con la triada de resistencia-conformabilidad-bajo costo (Matlock y col., 2010) (Cora y col., 2014).

Aceros avanzados de alta resistencia

Los aceros avanzados de alta resistencia son aceros con fases múltiples en la microestructura, martensita, ferrita, austenita y bainita retenida como resultado de una acertada selección de composición química, lo cual proporciona al material propiedades como, resistencia, ductilidad y tenacidad (Mallick, 2020; Necati y col., 2014).

Su implementación surgió por la necesidad de emplear materiales más ligeros en la industria automotriz, tomando en cuenta su potencial para cambiar lo convencional, tal como es el hierro fundido, para lograr una reducción de consumo energético mediante una disminución de peso en los vehículos (Zhang y col., 2022).

Una demanda actual es mejorar la rentabilidad del vehículo cumpliendo con los lineamientos ambientales globales y de seguridad; (Reyes y col., 2019) menciona la importancia de que los materiales con aplicaciones vehiculares cumplan con alta resistencia y rigidez, lo cual difícilmente se logra con un espesor reducido. Los AHSS presentan una combinación mayor de resistencia y ductilidad ya que absorben más energía al impacto, pero no permiten como

tal, la reducción de consumo de combustible ni la emisión de gases a la atmósfera, hasta que se optó por la reducción de espesor de los componentes (Keeler y col., 2017) (Shaw y col., 2002).

Clasificación de los aceros avanzados de alta resistencia.

El **acero doble fase (DP)**, se caracteriza por tener dos fases, ferrita y martensita, a esta última, se le atribuyen propiedades de alta resistencia, mientras que a la matriz ferrítica se le atribuyen propiedades de buena ductilidad, lo cual puede resultar en un material competente para cumplir con las exigencias de la industria automotriz en comparación con los aceros de alta resistencia convencionales.

El acero DP, de acuerdo con los datos reportados por la ULSAB-AVC (Ultra Light Steel Auto Body - Advance Vehicle Concept), está considerado el material más empleado en fabricación de autopartes, hasta en un 74% (Madías, 2012).

Los **aceros de fase compleja (CP)** se distinguen por poseer una microestructura multifásica, es decir, que está compuesta por ferrita, bainita, martensita y austenita retenida, además de ser de bajo carbono con contenidos de manganeso en porcentajes de 2.2%, y elementos aleantes como cromo, molibdeno, niobio, titanio aluminio, vanadio y boro. Al contener múltiples fases, consiguen valores de resistencia a la tensión que oscilan alrededor de 800 MPa. Las aplicaciones en el sector automotriz son particularmente en parachoques, y zonas de mayor riesgo en caso de accidente, ya que entre la combinación de propiedades adquiridas están la soldabilidad, resistencia y ductilidad (Pérez, 2021; Nanda y col., 2016).

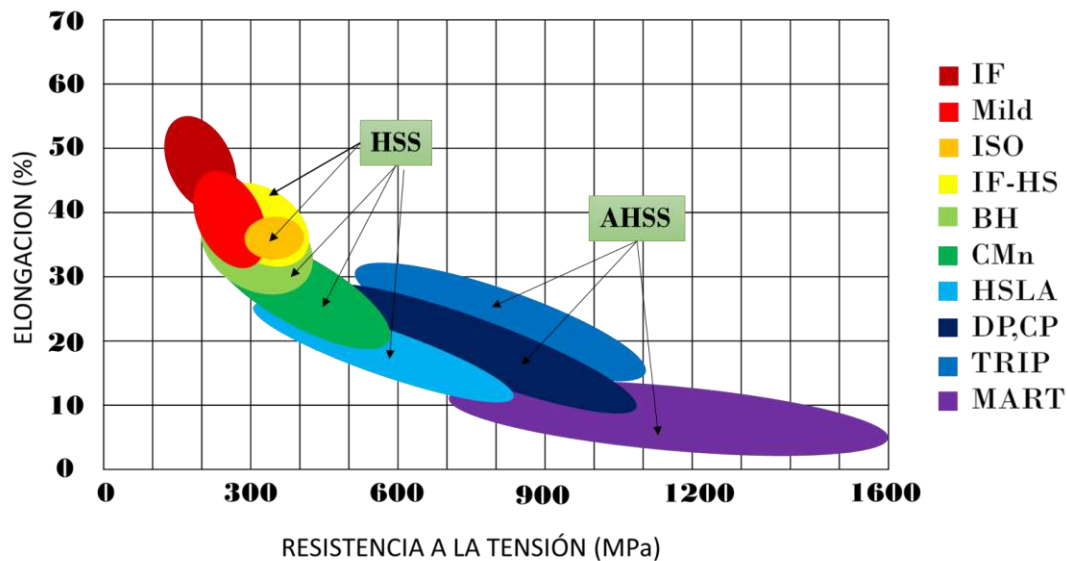


Fig. 1. Grafica de banana (adaptado de Sadagopan, 2004).

Los **aceros de plasticidad inducida por transformación (TRIP)**, se encuentran dentro de la categoría de aceros avanzados, su microestructura se compone por ferrita, bainita, y austenita retenida en un porcentaje aproximado de 5%, que se transforma de manera progresiva a martensita, lo que es conocido como efecto TRIP y se consigue mediante la acción de tensiones y deformaciones, logrando una combinación de elevada resistencia mecánica y alta ductilidad (Alza y col., 2022).

Los **aceros por plasticidad inducida por maclaje (TWIP)**, se definen por la fase austenita que es estable a temperatura ambiente, y en comparación con aceros convencionales, poseen valores más altos de resistencia y ductilidad. Su mecanismo de deformación se caracteriza por producir maclas que inhiben el deslizamiento y apilamiento de dislocaciones que incrementan la ductilidad de los aceros (Bastidas y col., 2021).

Importancia de la disminución de combustible en la industria automotriz

La tarea principal de las refinerías es la producción de gasolina, debido a la demanda del sector automotriz, dicha producción genera un problema de contaminación de importancia global, por ello se pretende la disminución de consumo energético (Franco, 2021).

Con la segunda ley enunciada por Newton ([ecuación 1](#)), Es posible saber que la variable dependiente es la fuerza, mientras que la variable independiente será la masa del objeto en cuestión, por tanto, de acuerdo con esto, cuanto mayor sea el peso del vehículo, mayor será la fuerza necesaria para incrementar su velocidad, por lo que el consumo de combustible será mayor.

$$F = m * a \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde

a = aceleración que experimenta un objeto (m/s²)

F = fuerza aplicada (N)

m= masa del objeto (kg)

Con base en esto, la industria automotriz busca el uso de aceros más ligeros y de alta resistencia, en partes estructurales de los vehículos, que optimicen el gasto de combustible, que va de la mano con la reducción de contaminación, que es un tema de gran importancia en la actualidad y para generaciones futuras (Lesch, 2017).

Barajas y col. (2016) en una revisión bibliográfica, recopilaron información acerca de propiedades y aplicaciones del acero, entre ellas la alta resistencia y tenacidad para

incrementar la absorción de energía durante un choque, para disminuir el riesgo de daños a los pasajeros, centrándose en la importancia del desarrollo de aceros con excelentes propiedades para satisfacer la demanda del mercado. Además, Tais y col. (2019) analizaron el empleo de AHSS frente a un acero convencional F36 empleados para estructuras metálicas, donde seguido de la designación F, se encuentra el valor mínimo de límite de fluencia, con el objeto de observar su resistencia, bajo condiciones iguales de trabajo soportando una capacidad de 55.5 toneladas incluyendo carga de servicio, peso propio, ejes y suspensión, donde se concluyó que ambos aceros satisfacen la condición de tensión de trabajo y deflexión vertical máxima; sin embargo, el acero avanzado de alta resistencia reduce un 30% el peso total de la estructura. Por tanto, en los AHSS, la reducción en peso es directamente proporcional a la reducción de costo por tonelada de transporte.

Las carrocerías de los automóviles se diseñan con la intención de proporcionar rigidez, y resistir la fatiga en un uso promedio, por último, pero no menos sustancial, ofrecer seguridad a los pasajeros en caso de un impacto. Las piezas que conforman el vehículo que son claves para la protección requieren de propiedades como resistencia a la deformación, alta absorción de energía en caso de una deformación (Hilditch y col., 2015).

A través del tiempo, el hierro y su aplicabilidad en aleaciones han incrementado para mejoras en el sector automotriz, conduciendo a un aumento de resistencia sin afectar propiedades como la ductilidad, dando lugar a los AHSS. Donde se concluyó que a pesar de que el hierro es un material que precede desde la antigüedad, tiene muchas oportunidades de evolución (Schmitt, 2018).

Hardwick y Outteridge (2016) realizaron un estudio para comparar un acero al boro frente a un acero AHSS doble fase DP800/DP1000, empleado en el pilar B de un vehículo modelo Ford Fusion (Figura 2) producido desde 2005, con el objeto de no sacrificar su rendimiento. El uso de aceros avanzados de alta resistencia logró mejoras desde el impacto ambiental, resistencia y disminución de peso y espesores, el valor de masa de la pieza consta de un 8% del peso total del vehículo con 13.3 kg en acero al boro, para el 2013, ocurrió un rediseño empleando AHSS DP800/DP1000, con lo que se alcanzó una disminución de 4 kg, consiguiendo un valor de 9.3 kg, lo que permite establecer que al emplear AHSS como sustituto de aceros convencionales, se logrará disminuir el peso total de los vehículos. Aunado a esto, el potencial del calentamiento global (GWP) disminuyó un 29% en AHSS DP800/DP1000 respecto a los aceros al boro.

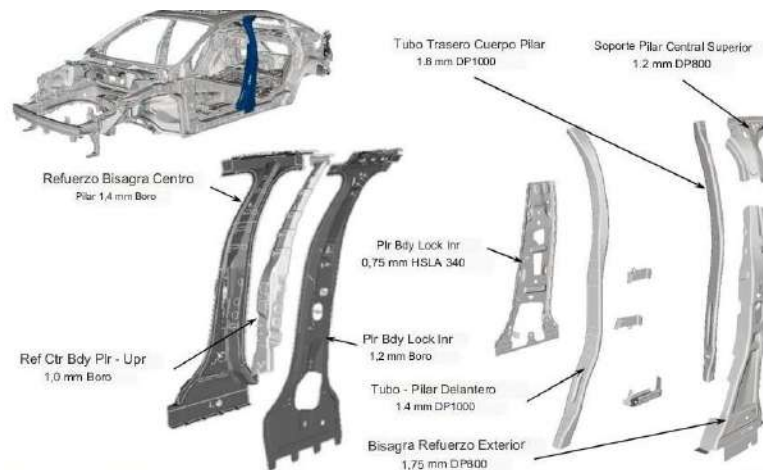


Fig. 2. Diseño Pilar-B Ford Fusion

<http://www.boronextrication.com/2012/11/08/2013-ford-fusion-body-structure-hydroformed/>

Como alternativa de procesamiento se encuentra el proceso de laminación en frío, donde los aceros de alta generación han logrado innovación tecnológica, contribuyendo a la resistencia y conformado del acero (Bleck y col., 2019). Esta evolución de AHSS se atribuye a la composición química, propiedades mecánicas adquiridas, así como a la estructura de dislocación jerárquica, la meta-estabilidad de la fase austenita, la transformación por deformación, además de la dispersión de los diferentes constituyentes de la microestructura. Dicha serie de características, son un factor importante en la contribución de varios mecanismos de endurecimiento (Raabe, 2020).

Los aceros (DP) son de gran utilidad para el sector industrial debido a las propiedades de alta resistencia mecánica y resistencia a la fatiga, debido a que sus fases constan de disimilitudes que permiten el apilamiento de dislocaciones, resultando así valores mayores de esfuerzo ultimo y resistencia a la fatiga respecto a aceros convencionales. Además, son de fácil fabricación sin necesidad de variar su composición química (Murillo, 2020).

Castillo y col. (2018) realizaron una caracterización microestructural y mecánica en un acero (SAE 8620) para la obtención de un acero fase dual, donde llevaron a cabo tratamientos térmicos. El primer tratamiento térmico constó de un austenizado a 915 °C durante un tiempo de 30 minutos, un normalizado en aire, un calentamiento en el rango intercrítico a 780 °C durante 30 minutos y por último un temple en agua. En el segundo tratamiento térmico se llevó a cabo un calentamiento a 915 °C durante 30 minutos seguido de un enfriamiento en agua, posteriormente se calentó el material hasta un rango intercrítico a 780 °C y por último se enfrió en agua. Y el tercer tratamiento fue un proceso termomecánico donde después de

llevarse a cabo una austenización a temperatura de 915 °C por un tiempo de 20 minutos, se realizó un normalizado en aire, posteriormente un calentamiento a una temperatura intercrítica de 810 °C en un tiempo de 20 minutos, seguido de una deformación en caliente del 10%, un temple en solución de NaOH al 5% y por último un revenido a 200 °C por un tiempo de 1 hora. En base con los resultados obtenidos por estos investigadores, los tratamientos que no involucraron transformaciones en caliente presentaron mejores características como resistencia mecánica y conformabilidad. El material que se sometió al primer tratamiento obtuvo los valores más altos de absorción al impacto, debido a que durante la primera etapa de normalizado el material consigue una recuperación microestructural, homogenizando el tamaño de grano, lo que elimina heterogeneidades que se obtienen durante la fabricación, permitiendo así que durante la transformación estructural se encuentre en mejores condiciones.

Conclusiones

Se concluye mediante la revisión bibliográfica, que los aceros de alta resistencia (AHSS), permiten propiedades como buena relación resistencia/ductilidad, donde se consigue mantener las propiedades de los AHSS con disminución de peso, espesor y de consumo de combustible. Dichas propiedades son conseguidas a través de la aplicación de tratamientos térmicos, debido al efecto del endurecimiento por deformación, lo que indica que los aceros avanzados de alta resistencia (AHSS), siguen siendo una alternativa viable para generaciones futuras, ya que con los avances tecnológicos se pueden producir propiedades óptimas para

sus aplicaciones, donde se ven involucradas variables, como transformaciones de fase, microestructuras, así como procesamiento.

Agradecimientos

AAGG agradece al Posgrado Maestría y Ciencia y Tecnología de Materiales de la Facultad de Ciencias Químicas, a la Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, y al CONACYT por la beca número **1240928**.

Referencias bibliográficas

Alza, V. A. y Chávez, V. P. (2022). TRIP Steels: Factors influencing their formation, Mechanical Properties and Microstructure. A Review. *J. Mech. Civ. Eng*, 19: 37-60.

Bastidas, D. M., Ress, J., Bosch, J. y Martin, U. (2021). *Mecanismos de corrosión de aceros de plasticidad inducida por gemelo de alto Mn (TWIP): una revisión crítica*. *Metales*, 11(2): 287. doi:10.3390/met11020287

Barajas, N., García A., Camporredondo, J., Equihua, F., & Castruita, L. (2016). Tendencia de los aceros y su aplicación en la industria automotriz. *CienciAcierta*, (48): 1-12. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/12/13/tendencia-de-los-aceros-y-su-aplicacion-en-la-industria-automotriz/>

Bleck, W., Brühl, F., Ma, Y. & Sasse, C. (2019). Materials and Processes for the Third-generation Advanced High-strength Steels. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte*, 164(11): 466-474. <https://doi.org/10.1007/s00501-019-00904-y>

Castillo, D. E. Angarita, I. I., Rodríguez, R. (2018). Caracterización microestructural y mecánica de aceros de fase dual (ferrita-martensita), obtenidos mediante procesos térmicos y termomecánicos. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 26 (3): 430-439.

Cora, Ö. N., & Koç, M. (2014). Promises and problems of ultra/advanced high strength steel (U/AHSS) utilization in automotive industry. In *7th Automotive Technologies Congress (OTEKON 2014), Bursa, Turkey* :1-8.

Franco, A., (2021). Evaluación de los factores de conducción eficiente en vehículos particulares y su relación con la carga contaminante proveniente del consumo de combustible. Monografía Especialidad. Fundación Universidad de América, Facultad de educación permanente y avanzada especialización en gestión ambiental Bogotá D.C.
<https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8395/1/793282-2021-I-GA.pdf>

Hardwick, A.P., Outteridge, T. (2016) Vehicle lightweighting through the use of molybdenum-bearing advanced high-strength steels (AHSS). *Int J Life Cycle Assess*, 21: 1616–1623. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0967-7>

Hilditch, T. B., de Souza, T., & Hodgson, P. D. (2015). 2—Properties and automotive applications of advanced high-strength steels (AHSS). En M. Shome & M. Tumuluru (Eds.), *Welding and Joining of Advanced High Strength Steels (AHSS)*: 9-28. Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-85709-436-0.00002-3>

Lesch, C., Kwiaton, N. & Klose, F. B. (2017). Advanced High Strength Steels (AHSS) for Automotive Applications – Tailored Properties by Smart Microstructural Adjustments. *steel research international*, 88(10): 1700210. <https://doi.org/10.1002/srin.201700210>

Madías, J. (2012) Avances en la producción y aplicación de aceros bifásicos. *Acero Latinoamericano*, 532: 46-54.

Mallick, D. (2020). Hydrogen behavior in first and second generation of advanced high strength steels. Materials. Tesis de Doctorado. Université de Lyon; Indian Institute of Technology (Bombay, Inde),

Matlock, D. K. y Speer, J. G. (2010). Oportunidades de procesamiento para nuevas chapas de acero avanzadas de alta resistencia. *Materiales y procesos de fabricación*, 25(1-3): 7–13. doi:10.1080/10426910903158272

Murillo, J. (2020). Identificación automática de fases de la microestructura de aceros de fase dual a partir del procesamiento digital de imágenes. Tesis de Licenciatura. Bogotá, D.C. Fundación Universidad de América. [Biblioteca Universidad de América Koha > Detalles de: Identificación automática de fases de la microestructura de aceros de fase dual a partir del procesamiento digital de imágenes \(uamerica.edu.co\)](#)

Nanda T., Singh Vishal., Singh Virender., Chakraborty A., and Sharma S. (2016). Third generation of advanced high strength steels: Processing routes and properties. *J. of Materials Design and Applications*, 233: 209-238

Pérez, V. (2021). *Influencia de los microaleantes en las transformaciones de un acero de fase compleja endurecible en prensa utilizado en automoción*. Master Interuniversitario. Universidad de Oviedo. Recuperado 19 de septiembre de 2022, de <https://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/61362>

Raabe, D., Sun, B., Kwiatkowski Da Silva, A., Gault, B., Yen, H. W., Sedighiani, K., Thoudan Sukumar, P., Souza Filho, I. R., Katnagallu, S., Jägle, E., Kürsteiner, P., Kusampudi, N., Stephenson, L., Herbig, M., Liebscher, C. H., Springer, H., Zaefferer, S., Shah, V., Wong, S. L., Ponge, D. (2020). Current Challenges and Opportunities in Microstructure-Related Properties of Advanced High-Strength Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 51(11): 5517-5586. <https://doi.org/10.1007/s11661-020-05947-2>

Sadagopan, S. (2004). Formability characterization of advanced high-strength steels. In *Great Designs in Steel Seminar*:1-25. American Iron and Steel Institute.

Salas Reyes, A. E., Vera Aguilar, S. B., Chávez Alcalá, J. F., González Mancera, G., Ruíz Tamayo, A. G., & García Robledo, J. F. (2019). Caracterización microestructural de un acero avanzado de alta resistencia de fase compleja tratado térmicamente. *Revista Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 5(5): 494-501. https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/revista_tendencias_2019.pdf.

Salas Reyes, A. E., Acevedo Sánchez, F. D., Altamirano Guerrero, G., Chávez Alcalá, J. F., Mercado Lemus, V. H., & Ruíz Tamayo, A. G. (2020). Acondicionamiento microestructural de un acero AHSS de fase compleja microaleado con boro tratado vía Q&P. *Revista*

Tendencias en Docencia e Investigación en Química, 6(6): 429-435 https://revistatediq.azc.uam.mx/Docs/Revista_TeDIQ_2020.pdf.

Shaw J., Heenan W., Smith V. (2002). ULSAB-AVC (Advanced Vehicle Concepts): A Solution for Today (Engineering, Life Cycle Inventory and Cost Analyses). *American Council for an Energy-Efficient Economy*, 1: 117- 131

Schmitt, J. H. & Iung, T. (2018, diciembre). New developments of advanced high-strength steels for automotive applications. *Comptes Rendus Physique*, 19(8): 641-656.
<https://doi.org/10.1016/j.crhy.2018.11.004>

Sheu, J., Yu, C. & Wang, J. (2017). Die Designs of Cold Roll Forming Process for Car Bumper Using Advanced High Strength Steel. *Procedia Engineering*, 207: 1308-1313.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.888>

Tais. C., Costamagna, M., Marino, M. (2019). Análisis de la factibilidad de uso de los aceros microaleados en semirremolques de alta capacidad de carga. *Mecánica Computacional*, XXXVII: 591-600.

Zhang, W. & Xu, J. (2022). Advanced lightweight materials for Automobiles: A review. *Materials & Design*, 221:110994. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2022.110994>

Termodinámica de la determinación de oro por la técnica de ensayo al fuego, una revisión.

Thermodynamics of gold determination by fire assay technique, a review.

Betssy Maley Salazar-Banda¹, Francisco Raúl Carrillo-Pedroza¹, Felipe de Jesús López-Saucedo², Ma. De Jesús Soria-Aguilar¹, Juan Antonio González-Anaya³

¹Facultad de Metalurgia, Universidad Autónoma de Coahuila, carretera 57 km 5
C.P. 25710, Monclova, Coahuila, México.

²Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos”. Boulevard Adolfo
López Mateos S/N, Independencia, 26830 Nueva Rosita, Coahuila.

³Universidad Autónoma de Zacatecas – Unidad Académica de Ciencias de la Tierra.
Avenida Universidad 108, Progreso, 98050 Zacatecas, Zacatecas.

Autor de correspondencia: betssy_salazar@uadec.edu.mx

Resumen

En el presente trabajo se realizó una revisión teórica sobre la termodinámica del proceso de ensayo al fuego, especialmente para la determinación de oro, esta técnica es esencial para evaluar de forma cuantitativa los procesos mineros y su eficacia en cuanto a producción. En este sentido se analizan y describen los temas generales abordados en el tema, de los cuales destacan las generalidades y fenómenos termodinámicos que dan lugar a la fusión y copelación de minerales ricos en metales preciosos.

Palabras clave: Oro, ensayo al fuego, termodinámica.

Abstrac

In this work, a theoretical review was made on the thermodynamics of the fire assay process, especially for the determination of gold, this technique is essential to evaluate in a quantitative way the mining processes and their efficiency in terms of production. In this sense, the general topics addressed in the subject are analyzed and described of which the generalities and thermodynamic phenomena that give rise to the melting and copelation of minerals rich in precious metals stand out.

Keywords: Gold, fire assay, thermodynamics.

Introducción

La minería es uno de los principales motores económicos de México. Dentro de la industria minero - metalúrgica, la extracción de metales de alto valor, como el oro y plata han tenido gran importancia por la creciente demanda en el mercado nacional e internacional, generando empleos, divisas, y un importante desarrollo cultural. El país se encuentra entre los diez primeros lugares del mundo en inversión para la exploración de yacimientos minerales, así como el comercio que se genera (Azamar, 2018). Por esta razón define la vocación productiva de algunas entidades federativas como Zacatecas, Guanajuato, Coahuila y Sonora (Gaytán y Benita, 2014).

Los métodos de extracción (piro e hidrometalurgia) dependen de la mena a tratar, pero generalmente las concentraciones de los metales nobles son del orden g/ton (Concha, 2016). Por lo tanto, para la determinación cuantitativa del contenido de oro en muestras de mineral es utilizada por su gran certeza y confiabilidad la técnica de ensaye al fuego, la cual consiste en producir una fusión, empleando los fundentes adecuados, con el objetivo de obtener dos fases: la primera, se compone de una fase escoria, la cual es constituida principalmente por silicatos complejos, y la segunda se encontrará de forma metálica y estará constituida por el colector (plomo), con la finalidad de recolectar los metales preciosos como el oro y la plata (López, 2011).

Los fenómenos termodinámicos permiten comprender y estudiar las reacciones que ocurren dentro de la fundición y copelación, brindando la información necesaria en forma de diagramas de fase para determinar temperaturas de fusión, concentración de los metales preciosos y sus aleaciones.

El oro

El oro es el metal precioso considerado de excelencia por la humanidad, su nombre deriva del latín Aurum, a esto se debe su símbolo químico Au (López, 2011).

La presencia del oro en la naturaleza se puede encontrar en diferentes formas, entre ellas: trozos, de forma nativa en lajas o escamas, y también en depósitos sedimentarios; es considerado que proviene de las emisiones hidrotermales desde las profundidades de la tierra, estos yacimientos posteriormente pueden ser explorados por metodologías mineras de explotación. (Falen y Ruidias, 2020).

Entre sus características, este metal destaca por su elevada densidad, esta, solo es sobrepasada por elementos como el osmio, iridio y platino, su color se deduce a un amarillo brillante porque refleja toda la gama de colores. En cuanto a agentes corrosivos, el oro, no suele ser atacado por ácidos fuertes ni aún en temperaturas altas, sin embargo, es posible la solubilidad en agua regia o en soluciones con contenido de cloro (López, 2011).

En cuanto a sus aplicaciones, el oro se utiliza en la joyería, por otro lado, en la industria electrónica y de telecomunicaciones forma parte importante de los componentes de computadoras, teléfonos, calculadoras, equipos de televisión, etc. El oro es un excelente conductor de la electricidad, y un agente importante para evitar el peligro de la corrosión (López, 2011). La demanda de oro se ha elevado, ya que, en los años del 2008 al 2018 (Figura 1), el uso del oro como un representante activo de inversión, aumento de un 26% al 40% del consumo global. De esta manera se contrarrestó su menor uso en joyería, que cayó en 9% en dicho período (SNMPE, 2018).



Figura 1. Demanda mundial de consumo de oro, 2018 (SNMPE, 2018).

En México, se estima que el sector minero-metalúrgico, contribuye con el 2.3 por ciento del Producto Interno Bruto Nacional, posicionándose en el 1er lugar en la producción de plata a nivel mundial y el séptimo en producción de oro. Por otro lado, a nivel estado se encuentra el estado de Sonora ocupando el primer lugar como productor de Oro, seguido de Chihuahua, Guerrero y Zacatecas (SGM, 2021).

Ensayo al fuego

La técnica de ensayo al fuego es reconocida como la más utilizada y antigua para la determinación del oro, brindando precisión y exactitud al 99% (Wang y col., 2016). Permite analizar elementos preciosos como el oro, la plata y los elementos del grupo platino presentes en menas y concentrados de minerales, se emplea a altas temperaturas y utiliza reactivos fundentes los cuales cumplen con distintas funciones necesarias para la liberación y colección del metal de interés. Se pueden utilizar muestras desde 10 a 50g para obtener un campo más representativo y de mayor precisión en análisis (Rodríguez y col., 2019).

Dos son las fases en las que se desarrolla este proceso pirometalúrgico. En el método tradicional, la primera, consiste en separar los metales preciosos de otros constituyentes o impurezas presentes en la muestra con ayuda de un metal colector, este proceso sucede en el proceso de fundición (Ghosh y col., 2011), la fase metálica es lograda a partir de un óxido metálico, gracias a condiciones termodinámicas, que, al fundirse, ayuda a que éste se reduzca. La segunda fase de la técnica también llamada fase metálica (Toapanta, 2012), se basa en la separación de los metales, oro y plata, del metal colector, generalmente por medio de la copelación, la cual emplea copelas de ceniza de hueso permite que el óxido de plomo sea absorbido por la copela dejando completamente liberado el botón o dore oro-plata (Ghosh y col., 011).

Fundición

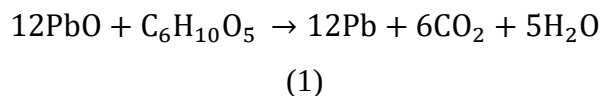
Se considera la fundición como una operación metalúrgica mediante la cual una muestra de mezcla con diferentes especies metálicas como: óxidos, sulfuros, sulfatos y silicatos se lleven a su estado líquido, haciendo uso de la alta temperatura en un horno eléctrico, tomando en cuenta las condiciones termodinámicas para que se formen las fases insolubles entre ellas, de manera que los productos puedan ser separables (Toapanta, 2012).

El proceso de fundición es fundamental, pues el control se realiza de manera perfecta en cuanto a la reacción de oxidación, no solamente se oxidan impurezas metálicas, sino, también eliminan todas las impurezas volátiles, por ejemplo, el azufre, arsénico, antimonio,

entre otros. Consiste en introducir la mezcla de fundentes y muestra de mineral previamente pulverizado en caso de que lo requiera al horno precalentado a una temperatura entre 950 - 1000°C aproximadamente, durante 45 minutos en el horno eléctrico (García, 2012).

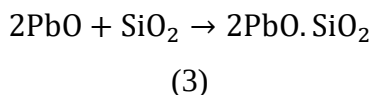
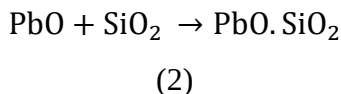
Los fundentes o reactivos que se utilizan para el ensayo al fuego tienen una gran relevancia ya que cumplen con la formación de escoria de la muestra y la colección de los metales preciosos. De forma común, este colector es un metal, óxido metálico que se adiciona en conjunto con los fundentes. Se debe considerar que este metal cuenta con la capacidad de fundir los metales preciosos y colectarlos de manera eficaz, logrando el objetivo de formar la fase metálica, para posteriormente separarlos por medio de otros procesos. El óxido de plomo (PbO) también conocido como litargirio, es destacado por ser el colector más utilizado para el análisis por ensayo al fuego, pues, muestra que cuenta con gran eficacia en la colección del oro y plata, para lograr el proceso de metalización de PbO a Pb requiere de un agente reductor. La adición de un fundente como el carbonato de sodio (Na₂CO₃) reduce la temperatura de la fusión de la muestra y el bórax (Na₂B₄O₇·10H₂O) el cual favorece la formación de escoria, como agente reductor y fuente de carbón es empleada comúnmente harina o azúcar (Santos y col., 2019).

Dentro de este procedimiento la reacción que ocurre en primer lugar durante el ensayo al fuego es la reducción del litargirio (PbO) con harina (Salazar, 2020):

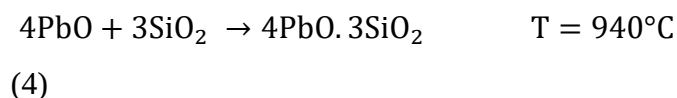


El exceso de litargirio durante la fusión trae como consecuencias perdidas de partículas de mineral que son arrastradas durante la reacción. Sin embargo, de 40 — 60 gr. de PbO en exceso si beneficia la operación de fusión.

A 726°C el litargirio reacciona con el cuarzo (SiO₂) formando una escoria muy viscosa dando las fórmulas. PbO.SiO₂ (bisilicato de plomo), 2PbO.SiO₂ (monosilicato de plomo).



Cuando se tiene la siguiente reacción:

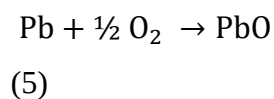


Se considera que la fluidez de la escoria es excelente, favoreciendo la liberación del oro y plata en forma de régulo de plomo (Bugbee, 2018).

Copelación

El proceso de copelación tiene como objetivo liberar los metales nobles del régulo de plomo, eliminando el plomo como óxido de plomo, mediante la absorción del óxido fundido en la "copela", la cual está constituida por ceniza de hueso, cemento y magnesia (Salazar, 2020). El régulo de forma cúbica obtenido del proceso de fundición es colocado sobre una copela precalentada durante aproximadamente 20 minutos hasta una temperatura de 950°C , luego se introduce al horno eléctrico. El proceso de copelación tiene una duración entre 45 – 50 minutos de los cuales 10 minutos previos a retirar las copelas son utilizados para la absorción del Pb el cual ocurre en un 98.5% y el %1.5 restante es volatizado, quedando finalmente el oro y la plata (botón o doré), en la copela, (Bugbee, 2018; Wiyantoko, 2018).

La reacción química que ocurre dentro de este proceso es la siguiente:



Obteniéndose como resultado de la reacción oxidación – reducción, óxido de plomo.

Los metales nobles se mantienen en la superficie gracias a la tensión superficial, el óxido de plomo o litargirio penetra la copela, y por capilaridad los metales son separados (Bugbee, 2018).

Incuartación

La incuartación se lleva a cabo envolviendo el doré (oro + plata) con 6 a 10 veces su peso de plata en 4 o 5 gramos de hoja de plomo y se copela. La Tabla 1 indica las proporciones de plata para la incuartación según el peso del oro:

Tabla 1. Proporciones de plata para la incuartación de oro (Bugbee, 2018).

Peso del oro	Relación de la plata al oro
Menos de 0.1 miligramos	20 ó 30 a 1
Más o menos 0.2 miligramos	10 a 1
Más o menos 1.0 miligramos	6 a 1
Más o menos 10 miligramos	4 a 1
Más de 50 miligramos	2 $\frac{1}{4}$ a 1

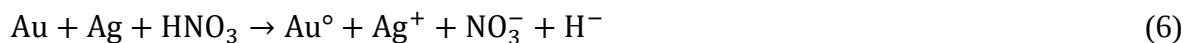
Las aleaciones de oro y plata no logran una relación adecuada de separación ácida (nítrica o sulfúrica) la cual debe estar dada por una relación mayor a 1:3 respectivamente (Espilco de la Cruz, 2013). La plata protege al oro, es decir entre mayor cantidad de plata menos oro se pierde (Bugbee, 2018). Si se emplea una relación menor se evitaría la separación de los metales preciosos, sin embargo, el agregado de exceso de plata se puede dar tanto en el fundente como en el regulo de plomo al comenzar la copelación (Espilco de la Cruz, 2013).

Cuanto mayor sea la proporción de plata en el doré, el ataque será aún más veloz, pero, las altas proporciones, causarán el desmenuzamiento del doré. Si, el contenido de plata es hasta dos veces que el de oro, entonces, no se ataca el doré, aun encontrándose en ácido concentrado y se necesitan mayores concentraciones de plata para un ataque rápido con ácido diluido. Para impedir la ruptura del doré debe realizarse el ataque a la temperatura

más baja posible: Una proporción adecuada de, Ag a Au es de 4 a 1 ó 5 a 1, el equivalente a una cantidad aproximada de 20% de oro (Salazar, 2020).

Apartado (Separación oro – plata) por gravimetría.

Es un proceso químico para ensayos de determinación de metales valiosos como oro, plata, y grupo del platino. Para ensayos de oro se usa exclusivamente el ácido nítrico a una temperatura de entre los 80° - 110° (Bugbee, 2018). El botón de doré se coloca en un crisol de porcelana y se agrega un volumen correcto de ácido nítrico, diluido a la temperatura mencionada anteriormente, 25-35 minutos. Continuamente se realiza una decantación y se retira la solución de nitrato de plata con una pipeta. En esta etapa ocurre la siguiente reacción, (Espilco de la Cruz, 2013):



Es importante evitar sobrepasar proporciones mayores de 8 a 10 veces más que el oro ya que causa la disgregación del oro (Bugbee, 2018).

Por último, las hojuelas resultantes de oro después de ser secadas y calcinadas se dejan enfriar para finalmente pesarlo (Espilco de la Cruz, 2013).

Termodinámica y diagramas de fase en el ensayo al fuego.

Estos diagramas pueden ser empleados para asegurar que se seleccionan los fundentes adecuados para las condiciones en el horno eléctrico. El objetivo es que el fundente reaccione con el mineral o concentrado para formar una escoria líquida y suministrar las condiciones reductoras para la formación del plomo líquido, creando la viscosidad adecuada de la escoria y que de esta manera el plomo efectivamente distribuido y asentado recolecte el oro, además el fundente debe lograr obtener una escoria ácida y por tanto, no corroerá excesivamente el crisol, que normalmente es un material ácido, por ejemplo, de arcilla refractaria de aluminosilicatos (Twidwell, 2016).

Los siguientes son ejemplos de fundentes efectivos para variedad de minerales auríferos para la fundición de minerales auríferos:

- Na_2O (flujo básico)
- PbO (flujo básico)
- B_2O_3 (flujo anfótero, generalmente ácido pero básico para silicatos)

En la Figura 2, se logra observar el momento exacto en el que los fundentes se funden logrando formar $\text{Na}_2\text{O} \cdot 2\text{SiO}_2$ en estado líquido y coexistir de forma homogénea en el sistema. El diagrama nos indica que la primera formación del metal líquido ocurre a los 780°C y una completa fusión a los 850°C , relacionando de esta manera ambos puntos de fusión de los fundentes. Es importante mencionar que la temperatura, para una correcta fusión dentro de la mezcla en el crisol, debe ser más baja que la temperatura del horno eléctrico.

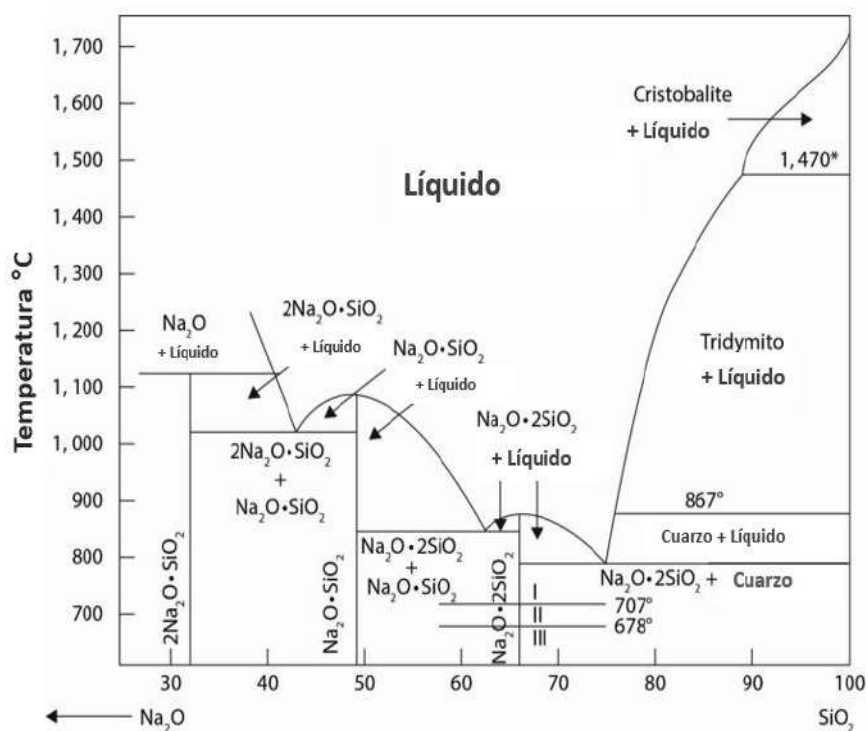


Figura 2. Diagrama de fases $\text{Na}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ (Vadász, 2019).

Con la representación gráfica del diagrama de fases plata – plomo de la Figura 3 se puede deducir que, el plomo funde a 327.5 °C y a 900 °C puede disolver la plata a ensayar. A 888°C el $2Pb_{liquido} + O_2$ y $2PbO_{solido}$ funden convirtiéndose a óxido de plomo sólido y óxido de plomo líquido.

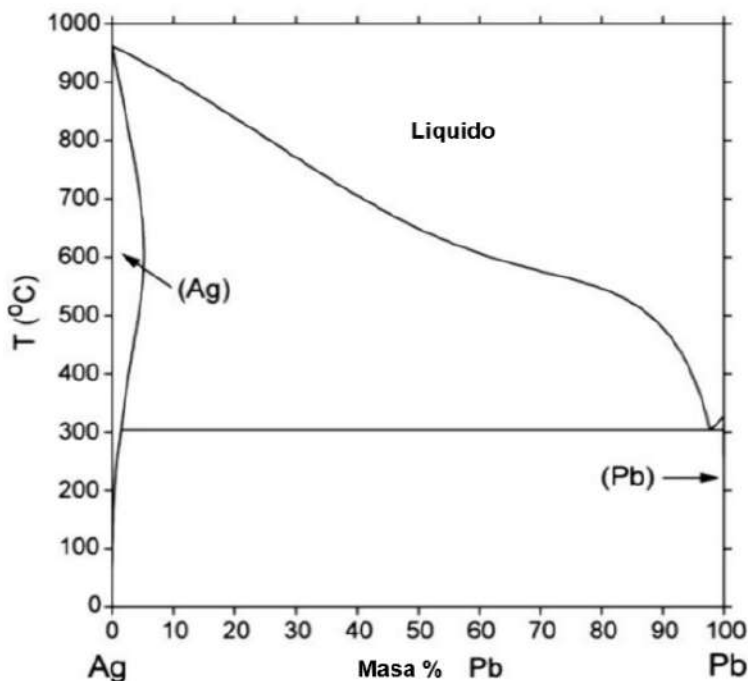


Figura 3. Diagrama de fases de Ag-Pb (Ulseth, 2015).

Las impurezas dependen de cada muestra a ensayar, Ulseth (2015) explica en su trabajo de investigación que estas impurezas se disolverán en el plomo fundido. Cuando el horno se encuentra a 900 °C, las impurezas de la aleación a ensayar se disuelven en óxido de plomo líquido o en plomo líquido que se oxida gradualmente. Una pequeña parte de la plata (1-2%) también se disuelve en el óxido de plomo líquido.

A medida que el óxido de plomo líquido es absorbido por la pared de la copela y se oxida cada vez más plomo, el resto del plomo líquido se vuelve más rico en plata. La plata sólida

(alrededor del 98 % de Ag) se forma cuando la concentración de plata en el plomo líquido alcanza la línea de líquido (aproximadamente 90% Ag y 10% Pb) (Ulseth, 2015).

A continuación, en las Figuras 4 y 5 muestran porqué, el plomo es usado como colector de los metales preciosos, pues cumple con la función de bajar el punto de fusión de estos metales dentro del plomo líquido. Por otro lado, la copelación, al aumentar la cantidad en concentración líquida, gracias al efecto de la oxidación del plomo, se forma de manera sólida y metálica el botón de doré Au – Ag. (Salazar, 2020).

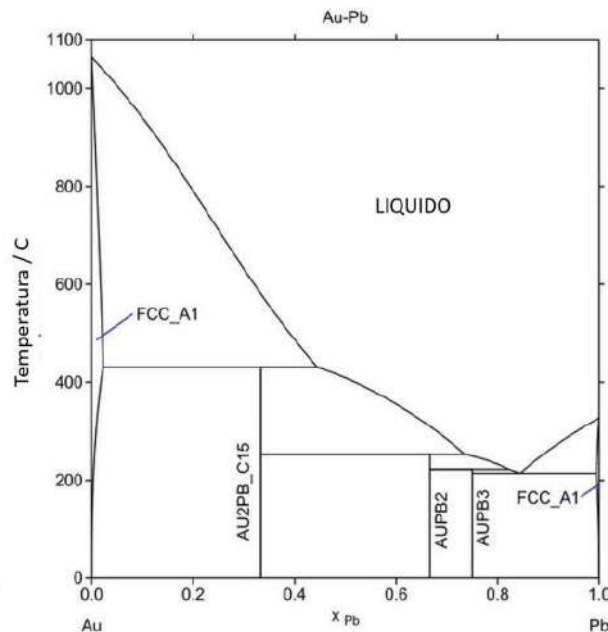


Figura 4. Diagrama de fases Au – Pb, (Salazar, 2020)

El diagrama oro – plata (Figura 5), permite conocer la temperatura en la cual se logra obtener la forma líquida de cada metal precioso, de esta manera se podrá analizar que fundentes son los adecuados para garantizar un correcto proceso de fundición.

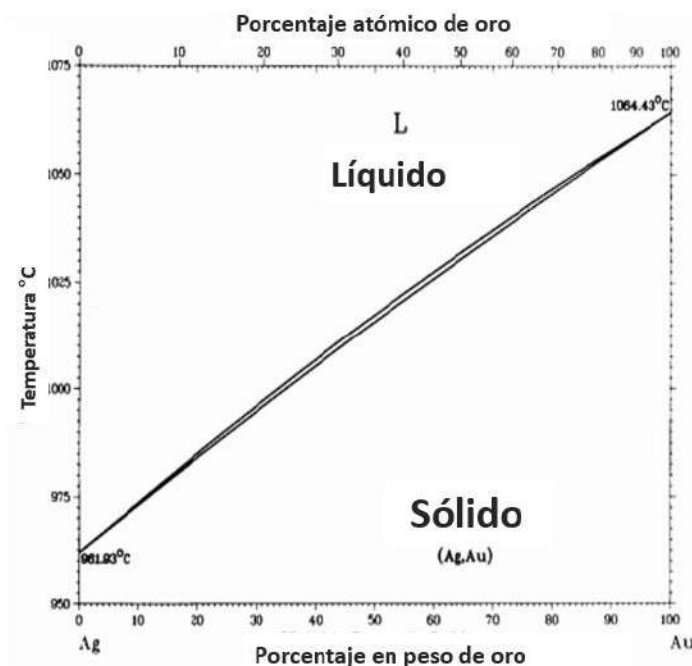


Figura 5. Diagrama de fases Au – Ag (Burr, 2016).

Conclusiones

La técnica de ensaye al fuego es la manera más eficaz para obtener resultados confiables en cuanto a medir el contenido de oro. Con muestras de 10 a 50g de mineral o concentrado, es posible cumplir con los objetivos empleando los fundentes adecuados.

Es importante conocer las reacciones termodinámicas para determinar la cantidad y dosificación correcta de fundentes para realizar el proceso de fundición.

Los diagramas de fases demuestran que el plomo es un excelente colector de metales preciosos, pues cumple con la función de bajar el punto de fusión de estos metales dentro del plomo líquido al momento de ocurrir la fusión.

Referencias

- Azamar, A. (2018). *Minería en América Latina y México: problemas y consecuencias*. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, DCSH/UAM-X. [En línea]. Disponible en: https://mx.boell.org/sites/default/files/2022-06/Asi_Se_Ve_La_Mineria_En_Mexico_LOW.pdf . Fecha de consulta: 28 de noviembre de 2022.
- Bugbee, E. E. (2018). *A Text-Book of Fire Assaying*. Estados Unidos de América: Ed. Franklin Classics Trade Press. 270 Pp.
- Burr, L. (2016). *Ion-track technology based synthesis and characterization of gold and gold alloys nanowires and nanocones*. Technische Universität Darmstadt. C 2: 45. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3768.7286>
- Concha, H. I. (2016). *Estudio de la concentración gravimétrica de minerales auríferos en un jig de laboratorio. Thesis*. Instituto Colombiano de Geología y Minería.
- Espilco de la Cruz, A. (2013). Control de calidad en análisis de oro y plata realizados por ensayos al fuego en minerales. [Informe profesional]. En *Universidad Nacional del Callao*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2891275>
- García Madrid, R. (2012). *Evaluación por modelación CFD del proceso de flotación en una celda de agitación mecánica y del efecto de la granulometría en la recuperación de mineral*. [En línea]. Disponible en <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/110946>

- Gaytán, E., & Benita, F. (2014). La industria minera en México: patrones de desempeño y determinantes de eficiencia. *Lecturas de Economía*. 80: 103-131.
- Ghosh, P., Mandal, H., Sirisha, B., Sen, U., Goswami, S. & Kiran, N. V. R. (2019). A Modified Acid Digestion Method for Analysis of Gold in Geological Samples: A Comparative Study. *MAPAN*, 34(4): 551-558. <https://doi.org/10.1007/s12647-019-00326-8>
- Lopez, A. (2011). Metales preciosos: El oro. En *Real Academia de Córdoba de Ciencias, Bellas Letras y Nobles Artes*.
- Falen, J. y Ruidias, P. (2020). Análisis del sector minero peruano enfocado en metales preciosos: oro y plata (Trabajo de investigación de Máster en Dirección de Empresas). Universidad de Piura. PAD-Escuela de Dirección. Programa Máster para Ejecutivos MEDEX. Lima, Perú. 1: 13.
- Rodríguez - Rodríguez, Y., Rivera, O. M., García, J. M., Basilio, J., Valentín, I. & Pino, L. (2018). Determination of gold in geological samples combining the fire assay and ultraviolet visible spectrophotometry techniques. *Academia Journal of Scientific Research*, pp: 027-033. DOI: 10.15413/ajsr.2017.0112
- Salazar, A. (2020). Evaluación técnica del método de determinación de oro por ensayo al fuego. *Universidad Autónoma de Coahuila*.
- Santos-Munguía, P., Nava-Alonso, F., Rodríguez-Chávez, V. & Alonso-González, O. (2019). Hidden gold in fire assay of gold telluride ores. *Minerals Engineering*, 141, 105844. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105844>
- Servicio Geológico Mexicano. (2021). *Anuario estadístico de la minería mexicana*. Gobierno de México. [En línea] Disponible en: https://www.sgm.gob.mx/productos/pdf/Anuario_2020_Edicion_2021.pdf

- Sociedad Nacional de Minería petróleo y energía, (2018) “El Oro,” Lima, Perú. [En línea]
Disponible en: <https://www.snmpe.org.pe/mineria/publicaciones-del-sector-minero/los-minerales/242-el-oro.html>
- Toapanta, G. R. (2013). Analisis de oro y plata de concentrados gravimétricos auríferos mediante ensayo al fuego utilizando cobre como colector. *Thesis*. Quito: USFQ, Cartagena.
- Twidwell, L. (2016). Application of binary and ternary phase diagrams to fire assaying. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5064.9364>
- Ulseth, Pål & Lohne, Otto & Risvaag, Jon Anders & Lohne, Jardar & Ervik, T. (2015). Late Medieval bone-ash cupels from the Archbishop's mint in Trondheim. 110: 267-279.
- Vadász, P., Plešingerová, B., Briančin, J. (2019) Interactions in Two-Phase Systems of MgO(s)-(Na₂O-SiO₂)(l). *Interceram. - Int. Ceram. Rev.* 68: 32–39
<https://doi.org/10.1007/s42411-019-0001-3>
- Wang, Y., Baker, L. A., & Brindle, I. D. (2016). Determination of gold and silver in geological samples by focused infrared digestion: A re-investigation of aqua regia digestion. *Talanta*, 148: 419 – 426. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.11.019>.
- Wiyantoko*, B. (2018). Quantitative analysis of gold concentrate using fire assay by gravimetry and spectrophotometry method. *International Journal of Pure and Applied Mathematics* [En línea]. Disponible en: <http://www.acadpubl.eu/hub/> Fecha de consulta: 29 de Noviembre de 2022.

Andamios Tisulares Óseos a partir de Biocompositos aplicados al Desarrollo de Prótesis Craneal.

Bone Tissue Scaffolds based on Biocomposites applied to the Development of Cranial Prosthesis.

Liliana Sofía Valdés Rodríguez^a, María Maura Téllez Rosas^a, Rafael Aguirre Flores^b, Felipe Ávalos Belmontes^{a*}, Jorge L. Acevedo Dávila^c.

^a Doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales
Universidad Autónoma de Coahuila
C.P. 25000. Saltillo, Coahuila, México.

^b Centro de Investigación en Química Aplicada
C.P. 25294. Saltillo, Coahuila, México.

^c Centro de Investigación en Geociencias Aplicadas
C.P. 26830. Nueva Rosita, Coahuila, México.

Autor de Correspondencia:

* favalos@uadec.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9830-8596>

Resumen

La reconstrucción funcional de defectos craneales implica un gran reto tanto protésico como quirúrgico. El desarrollo de biocompositos ofrecen la posibilidad de personalizar la macro y microestructura de las prótesis que sirvan como andamios tisulares para lograr la reconstrucción y por ende el cierre de defectos craneales con la menor cantidad de complicaciones post operatorias posibles. En este artículo se revisan las propiedades de los principales elementos para lograr tal objetivo, así como los fenómenos biológicos que participan en la regeneración de tejido óseo.

Palabras Clave: craneoplastía, oseointegración, compositos, prótesis 3D.

Abstract

Functional reconstruction of cranial defects implies a huge prosthetic and surgical challenge. The development of biocomposites offers the opportunity to personalize the macro and microstructure of the prosthesis that works as tissue scaffolds to achieve reconstruction and thus closure of cranial defects with the minimum post-surgical complications possible. This paper reviewed the properties of the main elements to achieve this purpose and the biological phenomena that play a role in bone tissue regeneration.

Keywords: cranioplasty, osseointegration, composites, prosthesis 3D.

Introducción

La craneotomía es un procedimiento quirúrgico indicado como terapia en diversas afecciones tales como infecciones, hemorragia intracraneal, extirpación de tumores y fracturas por traumatismo (Thien y col., 2015). Este método terapéutico, usualmente resulta en un defecto óseo craneal, por sus siglas (DOC), que por definición es la pérdida de la integridad de la bóveda craneal (Rosinski y col., 2020) (Figura 1) causada por el corte del hueso craneal para eliminar un tumor o para resolver alguna situación que requiera de la remodelación del cráneo.

Como consecuencia de esta pérdida, la masa encefálica puede quedar expuesta, lo que conlleva signos y síntomas de deficiencias neurológicas así como una significativa deformidad cosmética (Aghali, 2021) lo que trae consigo la necesidad de reconstruir el tejido perdido.



Figura 1. Prototipo de craneo con defecto craneal óseo (DOC) posterior a la extirpación de un tumor (Imagen de autoría propia).

El procedimiento quirúrgico mediante el cual se recupera la estructura ósea perdida durante una craneotomía se denomina craneoplastia (Zhang y col., 2019), en ésta se realiza la reconstrucción funcional de un DOC e implica uno de los mayores retos para el equipo interdisciplinario encargado de su resolución (Thrivikraman y col., 2018) debido a la complejidad de integrar el material que repondrá el hueso perdido con el tejido óseo remanente. Por tal motivo, el sistema de ingeniería tisular ósea (ITO) juega un rol determinante en el éxito de éste procedimiento.

La ITO se ha propuesto como una alternativa de tratamiento para inducir la formación de nuevo tejido y lograr el cierre de defectos óseos. Los elementos necesarios para lograr la generación de hueso por medio de esta ingeniería son: células madre, factores de crecimiento y un andamio con la capacidad de generar las condiciones necesarias para los procesos de regeneración tisular (Figura 2) (Hosseinpour y col., 2017; Thrivikraman y col., 2018). Existen diversas alternativas para la elección de un andamio tisular, tales como autoinjerto (procede del mismo paciente), aloinjerto (procede de fuentes externas al paciente) y xenoinjerto (procede de otras especies) (Zhang y col., 2019).

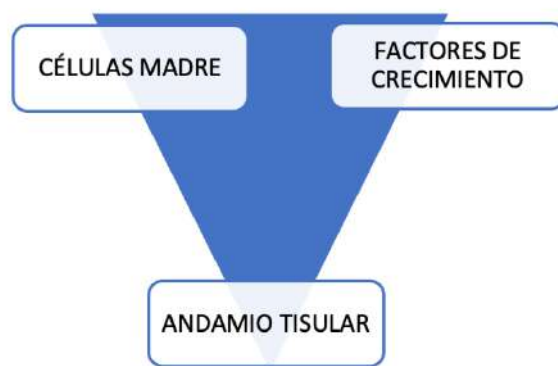


Figura 2. Elementos que integran la ITO

Aunque en el campo de la regeneración ósea, lo ideal es utilizar un autoinjerto para el cierre de un DOC debido al bajo riesgo de una reacción adversa, existe la limitante de la cantidad de tejido a obtener y el riesgo de una segunda cirugía para lograrlo (Ramesh y col., 2018). Por otro lado, el uso de aloinjertos tiene la ventaja de evitar las complicaciones de un segundo procedimiento quirúrgico, así como la facilidad de obtener la cantidad requerida de material que supla el tejido óseo (Hosseinpour y col., 2017).

Considerando que el andamio tisular es un elemento vital para lograr la generación de hueso que permita el cierre de un DOC, es importante entender los elementos del tejido óseo para buscar la integración con el andamio.

El hueso es un órgano compuesto en gran parte de tejido mineral. Representa el reservorio de minerales más importante del cuerpo humano (García-Aznar y col., 2021). Constituido en un 70% por material inorgánico, 25% orgánico y 5% por agua, lo que lo convierte en un biocomposito natural (Ramesh y col., 2018). Por tal motivo el desarrollo de biocompositos sintéticos que busquen imitar la micro y macroestructura de este órgano, abre un sinfín de posibilidades en el campo de la ITO. El desarrollo de biomateriales personalizados ofrece gran variedad de opciones para suplir el tejido óseo mediante la manufactura de prótesis que sirvan como andamio tisular óseo (ATO).

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, el objetivo del presente escrito es documentar de manera general los procesos mediante los cuales el tejido óseo lleva a cabo su regeneración, así como una revisión sobre los biocompositos poliméricos más utilizados para la confección de prótesis craneal y sus métodos de manufactura.

Estado del Arte

Los materiales usados para la fabricación de dispositivos que suplan una función o componentes del cuerpo de manera confiable, fisiológica y económicamente aceptable se denominan biocompatibles (Ramesh y col., 2018). Existen diferentes tipos de materiales biocompatibles, denominados biomateriales utilizados en la confección de prótesis craneal: metales, cerámicos y polímeros (Shekhawat y col., 2021) así como compositos cerámico-metal, cerámico-polímero y metal-polímero. Generalmente estos materiales funcionan como andamios, soportes o conductores que permitan el desarrollo de células formadoras de hueso para la integración del dispositivo al cuerpo (Thrivikraman y col., 2018).

Desafortunadamente no existe un material que por sí mismo posea todos los requerimientos necesarios para su uso en prótesis craneal. Por tal motivo la combinación de biomateriales es una alternativa en pos de mejorar las propiedades biológicas y mecánicas con el propósito de lograr una adecuada adaptación al cuerpo humano (Fraile-Martínez, 2021). Otro factor por considerar en la eficiencia del andamio óseo son los métodos de manufactura del mismo (Ramesh y col., 2018) así como el desarrollo de biocompósitos particulares para la fabricación de prótesis específicas que sirvan como ATO. Lo anterior conlleva grandes ventajas como la personalización del material, para lograr tanto la adaptación como la integración a nivel tisular y estético.

Dentro del cuerpo humano, el hueso es un tejido con una estructura dinámica capaz de realizar diferentes procesos de adaptación: cicatrización y regeneración (Fraile-Martínez, 2021).

Expresamente de su estructura, el tejido óseo es un compuesto con elementos orgánicos e inorgánicos de fibras de colágeno y cristales de hidroxiapatita carbonatada (Du y col., 2021). Por esta razón los biocompositos sintéticos que buscan suplirlo, deberán contener idealmente estos elementos, indispensables al momento de diseñar un andamio tisular capaz de integrarse con el hueso.

Andamio Tisular Óseo

El ATO perfecto debe contar con una superficie porosa para promover la proliferación y diferenciación celular, así como la formación de vasos sanguíneos, favorecer la integración al hueso y poseer propiedades mecánicas similares al tejido óseo (Hosseinpour y col., 2017), en otras palabras debe de ser biocompatible, osteoconductor y osteoinductor.

La generación de hueso, llamada osteogénesis, es un proceso manipulable en función de la personalización del andamio, ya sea agregando materiales bioactivos o modificando la superficie del mismo (Barkamo y col., 2014). Una alternativa para la fabricación de un ATO es el desarrollo de un biocompósito polimérico que sirva de prótesis para el cierre de un DOC. Idealmente debe reunir la mayor cantidad de requerimientos posibles para lograr una integración tisular al hueso remanente (Aghali, 2021) como adaptación estructural al defecto óseo, superficie porosa y componentes bioactivos en su microestructura.

La osteoinducción se refiere al proceso por el cuál la formación de hueso es inducida. Es un proceso biológico iniciado por células madre para formar células osteoprogenitoras y así formar hueso en sitios ectópicos (fuera de lugar) como por ejemplo una prótesis sintética. No es necesario contar con tejido óseo para inducir la generación de células óseas. Es por eso que la capacidad de osteoinducción de una línea celular se mide precisamente por su capacidad para formar hueso en sitios donde originalmente no existe (Weber, 2019).

Por otro lado, la osteoconducción es un fenómeno tridimensional donde ocurre el crecimiento de capilares, tejido perivascular y células osteoprogenitoras desde un componente óseo hacia un andamio poroso con el objetivo de cerrar un DOC (Weber, 2019). Dicho fenómeno puede ocurrir en estructuras de materiales no-biológicos como cerámicos, polímeros, metales o una mezcla de los anteriores. La eficiencia de la osteoconducción está en función de la velocidad con la que crece tejido óseo dentro de los poros del andamio o la velocidad para crear un puente prótesis/hueso. Debido a que la osteoconducción ocurre independiente de la osteoinducción, es considerada el proceso principal para la regeneración ósea a partir de andamios sintéticos (Weber, 2019).

La oseointegración se refiere al fenómeno bidimensional en el que se establece el contacto directo en la interfase prótesis/hueso y se mantiene durante su función normal dentro del organismo. La calidad de la oseointegración se mide obteniendo

el porcentaje de contacto implante-hueso o determinando la fuerza necesaria para remover el implante del hueso (Weber, 2019; Rosinski y col., 2020).

Biocompósito

Un compósito es un material formado por una fase matriz y una fase de refuerzo (dispersa en la matriz). Consiste en dos o más materiales de diferente naturaleza en los que se logra una distribución uniforme dentro de la matriz y sus propiedades mecánicas son diferentes a las de sus componentes individuales. De modo tal que un biocomposito es un material de multifase con propiedades específicas que no podría tener cada componente por sí mismo (Fraile-Martínez, 2021) aplicado en sistema biológicos.

Los biomateriales a partir de biocompositos (BC) buscan imitar las condiciones mecánicas y biológicas de los tejidos a reemplazar con el objetivo de suplir su función (Macuvele y col., 2017). El diseño de BP tiene como ventaja la posibilidad de elegir la matriz, el refuerzo, y demás componentes del compósito así como de sus concentraciones (Shekhawat y col., 2021). La posibilidad de personalizar la micro y macroestructura del material para fabricar una prótesis, mejora las posibilidades de lograr la integración de la misma al hueso. A continuación se mencionan los componentes poliméricos más comunes en la actualidad para la confección de prótesis craneal.

Entre las matrices poliméricas aptas para el desarrollo de biomateriales debido a su amplio uso como alternativas en la aplicación de prótesis craneal se revisan en el presente documento polimetilmetacrilato (PMMA), polietileno (PE) y poliéter éter cetona (PEEK) (Kobayashi y col., 2021).

El PMMA, es un polímero termoplástico bioinerte, con propiedades mecánicas apropiadas para su uso como biomaterial. El bajo costo y su facilidad de modelado son grandes ventajas en la fabricación de prótesis ósea. Debido a esto es también el compuesto más utilizado en odontología para prótesis dental.

Sin embargo, una de las mayores complicaciones que presenta en su aplicación protésica es la reabsorción de hueso (pérdida de hueso adyacente) posterior a la colocación del implante óseo debido a la interacción disminuida de la interfase implante/hueso (Krukiewicz y col. 2020), principalmente por su baja porosidad.

El PE, es un polímero termoplástico sintetizado por primera vez por el químico alemán Hans von Pechmann en 1898 (Paxton y col., 2019). El PE es uno de los polímeros más utilizados debido a su accesibilidad y versatilidad, a su vez el polietileno de alta densidad (HDPE) es su forma más común y económica, no obstante que el de ultra alto peso molecular (UHMWPE) por resistencia mecánica, es el más utilizado en prótesis de articulaciones como rodilla y cadera (Kobayashi y col., 2021).

El HDPE, a pesar de tener una baja temperatura de fusión y tendencia a deformarse al ser expuesto a altas temperaturas y presión, presenta también resistencia a la tensión adecuada.

Lo anterior es importante debido a que una vez fabricada la prótesis, se requiere un método de esterilización, siendo alternativas al autoclave la radiación UV y ozonización. una gran ventaja de este polímero de ultra alta peso molecular es su facilidad para moldearse a temperaturas relativamente bajas comparadas con las necesarias para termoformar otros polímeros. El HDPE es bioinerte, lo que le otorga la cualidad más valorada para el desarrollo de aplicaciones biomédicas (Paxton y col., 2019).

El poliéter éter cetona (PEEK), es un polímero termoplástico, químicamente inerte. Su módulo de elasticidad (3-4 GPa) es cercano al de la cortical del hueso humano (7-30 GPa).

Un factor decisivo para la elección de este material en la realización de prótesis es su radiolucidez, compatibilidad en ultrasonido y resonancia magnética (generan menos interferencia en la obtención de su imagen radiográfica) (Hidalgo y col., 2017). Sin embargo, existen algunas cualidades que aún se puede mejorar para su uso como biomaterial; tales como la porosidad de su superficie y su propiedad antimicrobiana (Zhang y col., 2019).

Referente a la fase de refuerzo del BP, se analizan, entre otros, las cualidades de la hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, HA), óxido de grafeno (GO), dióxido de titanio (TiO_2) (Bharadwaz, 2020; Shekhawat y col., 2021). Con respecto a las fases de refuerzo, la hidroxiapatita carbonatada (CAp), principal componente inorgánico del hueso, ampliamente utilizado en procesos de reparación ósea, liberación de fármacos y aplicaciones odontológicas debido a sus propiedades biológicas. En el caso de la nano-carbonatoapatita (n CAp), el área superficial que presenta mejora sus propiedades químicas y físicas para potenciar sus aplicaciones ya que el tamaño de partícula proporciona una mayor interfase de acción y energía de unión propia de los nanomateriales (Du y col., 2021).

Por otro lado, derivado del grafeno (monocapa de carbón), el óxido de grafeno (GO) es un refuerzo biocompatible que presenta propiedades osteogénicas, adecuada adherencia celular y baja citotoxicidad. Estas cualidades, aunadas a sus excelentes propiedades mecánicas, lo posicionan como una de las opciones para el desarrollo de biomateriales, así como para su aplicación en el campo de la ingeniería tisular ósea (Dinescu y col., 2019).

Por su parte, el dióxido de titanio (TiO_2) es un cerámico utilizado en ingeniería tisular debido a sus propiedades mecánicas, antibacteriales, resistencia a la corrosión y su biocompatibilidad.

Por otro lado, dependiendo; de la concentración y el tamaño de partícula, ha demostrado capacidad para promover la migración celular, lo que implica la

habilidad del material para participar en procesos de regeneración tisular (Ghasemi y col., 2021). Otro mecanismo que potencializa las propiedades biológicas del TiO_2 es la capacidad para promover procesos que benefician la regeneración y reparación mediante la adhesión de osteoblastos al andamio tisular adyacente al tejido óseo (Augustine, 2019).

Métodos de fabricación de prótesis

La inmensa variedad de combinaciones que ofrecen los BC para desarrollar un andamio que cumpla con todos los requerimientos físicos, mecánicos y biológicos y la versatilidad de técnicas para confeccionar una prótesis para el cierre de un DOC, son dos de las ventajas más valoradas en su aplicación como andamios dentro de la ITO.

Entre las principales técnicas de manufactura se encuentra el moldeo por inyección, compresión y extrusión (Jindal y col., 2021). Dichas técnicas permiten la fabricación de piezas en gran escala a un bajo costo, sin embargo implementar la producción para una pieza personalizada aumenta considerablemente su costo. Por otro lado, la manufactura aditiva mediante 3D permite la personalización de prótesis a través de un diseño capaz de adaptar la pieza a cada caso particular tanto en la macroestructura como en la microestructura de la misma (Figura 3).

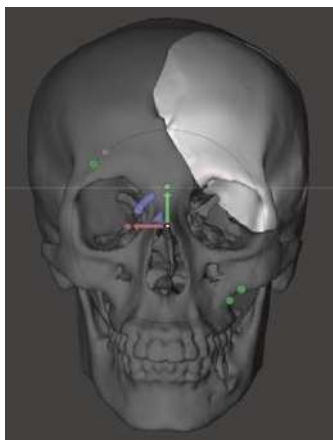


Figura 3. Diseño digital de prótesis craneal.

Los elementos protésicos se diseñan mediante un software auxiliado por computadora (CAD). Previo al diseño, se escanea el defecto óseo mediante tomografía computada obteniendo una imagen digital para comunicación y medicina en 2D (DICOM) a través de la cual se obtienen los segmentos de la imagen (cortes). Posteriormente, con la información obtenida y utilizando un lenguaje estándar teselado (STL), se genera una imagen en 3D. Ésta última deberá ser compatible con el software CAD lo que permitirá diseñar en 3D una prótesis totalmente personalizada y adaptada a la anatomía del cráneo del paciente (Figura 4) (Jindal y col., 2021).



Figura 4. Flujo de trabajo de diseño 3D y manufactura aditiva para prótesis personalizada.

En la manufactura en 3D existen diferentes técnicas, por mencionar, la fotopolimerización, el sinterizado con láser y la impresión por extrusión. Estas técnicas requieren la materia prima en líquido, polvo o filamento, respectivamente. La variedad de técnicas de manufactura aditiva, así como de la presentación de la materia prima para la fabricación de prótesis personalizada, conlleva la ventaja de adaptar cada una a los parámetros físicos y biológicos de cada compuesto (Jindal y col., 2021).

Precisamente, basados en impresión 3D, Kobayashi y col. (2021). desarrollaron una técnica quirúrgica para el cierre de DOC, utilizando una modificación en el diseño

(diseño de ala) de la prótesis craneal de UHMWPE que mejoró significativamente el resultado post operatorio y disminuyó considerablemente las complicaciones del procedimiento (Kobayashi y col., 2021).

Conclusiones

Como puede observarse existen diferentes tipos de materiales que al combinarse permiten el diseño de prótesis específicas con la capacidad de cumplir con las características y los requerimientos mecánicos específicos y biológicos en la regeneración de tejido óseo para el cierre de defectos.

La literatura reporta diferentes técnicas de diseño y confección para la preparación de ATO's, siendo en la actualidad la de mayor potencialidad por su versatilidad, la manufactura aditiva mediante el diseño en 3D.

Finalmente, se proyecta en un futuro próximo el desarrollo de nuevos materiales y técnicas de fabricación de piezas específicas para implantes que faciliten la integración y adaptación del mismo al cuerpo humano, disminuyendo así las posibles complicaciones post operatorias derivadas de este tipo de procedimientos quirúrgicos.

Agradecimientos

A los autores involucrados en la presentación de este artículo.

A la Universidad Autónoma de Coahuila, la Facultad de Ciencias Químicas y el doctorado en Ciencia y Tecnología de Materiales por las facilidades otorgadas. Al CONACYT por el apoyo económico brindado con el número de beca 837989.

Referencias Bibliográficas

- Aghali, A. (2021). Craniofacial Bone Tissue Engineering : Current Approaches and Potential Therapy. *Cells*, 10(11): 2993. doi: 10.3390/cells10112993
- Augustine, A. (2019). Development of titanium dioxide nanowire incorporated poly(vinylidene fluoride–trifluoroethylene) scaffolds for bone tissue engineering applications. *Journal of Material Science: Materials in Medicine*, 30: 96. <https://doi.org/10.1007/s10856-019-6300-4>
- Barkamo, S., Andersson, M., Currie, F., Kjellin, P., Jimbo, R., Johansson, C.B., Stenport, V. (2014). Enhanced bone healing around nanohydroxyapatite-coated polyetheretherketone implants: An experimental study in rabbit bone. *Journal of Biomaterials Applications*. 29(5): 737-747. doi: 10.1177/0885328214542854. Epub 2014 Jul 10.
- Dinescu, S., Ionita, M., Ignat, S.-R., Costache, M., Hermenean A. (2019). Graphene Oxide Enhances Chitosan-Based 3D Scaffold Properties for Bone Tissue Engineering. *International Journal of Molecular Science*. 20(20): 5077. doi: [10.3390/ijms20205077](https://doi.org/10.3390/ijms20205077)
- Du, M., Chen J., Liu K., Xing H., Song C. (2021). Recent advances in biomedical engineering of nano-hydroxyapatite including dentistry, cancer treatment and bone repair. *Composites Part B: Engineering*, 215: 108790. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2021.108790>
- Fraile-Martínez, O., García-Montero, C., Coca, A., Álvarez-Mon, M.A., Monserrat, J., Gómez-Lahoz, A.M., Coca, S., Álvarez-Mon, M., Acero, J., Bujan, J., García-Honduvilla, N., Asúnsolo, A., Ortega, M.A. (2021). Application of Polymeric Composites in Bone Tissue Engineering and Jawbone Regeneration. *Polymers*, 13(19): 3429. doi: 10.3390/polym13193429
- García-Aznar, J. M., Nasello, G., Hervas-Raluy, S., Pérez, M.A., Gómez-Benito, M.J. (2021). Multiscale modeling of bone tissue mechanobiology. *Bone*, 151: 116032. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2021.116032>
- Ghasemi, S., Ghomi, H. (2021). Investigation of applying chitosan coating on antibacterial and biocompatibility properties of bredigite/titanium dioxide composite scaffolds. *Journal of Biomaterials Applications*, 36(3): 406-418. doi: [10.1177/0885328221994290](https://doi.org/10.1177/0885328221994290)
- Hidalgo, R. S., Asenjo Siguero, J.J., Rodríguez Macías, M.J., García Delgado, I., Varillas Delgado, D., Javier Martínez, E.E., García de Lucas, F. (2017). Evolution of polyetheretherketone (PEEK) boxes. Clinical and radiological study. *Revista Cubana de Ortopedia y Traumatología*, 31(1): 50-60.
- Hosseinpour, S., Ghazizadeh Ahsaie, M., Rezai Rad, M., Taghi Baghani, M., Reza Motamedian, S., Khojasteh, A. (2017). Application of selected scaffolds for bone

tissue engineering: a systematic review. *Oral Maxillofacial Surgery*. 21(2):109-129. doi: 10.1007/s10006-017-0608-3.

Jindal, S., Manzoor, F., Haslam, N., Mancuso, E. (2021). 3D printed composite materials for craniofacial implants: current concepts, challenges and future directions. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 112: 635-653. <https://doi.org/10.1007/s00170-020-06397-1>

Kobayashi, K., Yukiue, T., Yoshida, H., Tsuboi, N., Takahashi, Y., Makino, K., Kimura, R., Mizuta, R., Sasada, S., Ogawa, T., Nagayama, N., Yasuhara, T., Date, I. (2021). Ultra-high-molecular-weight Polyethylene (UHMWPE) Wing Method for Strong Cranioplasty. *Neurology Med Chir*, 61(9): 549-556. doi: 10.2176/nmc.oa.2021-0032.

Krukiewicz, K., Putzer, D., Stundl, N., Lohberger, B., Awaja, F. (2020). Enhanced Osteogenic Differentiation of Human Primary Mesenchymal Stem and Progenitor Cultures on Graphene Oxide/Poly(methylmethacrylate) Composite Scaffolds. *Materials*, 13(13): 2991. <https://doi.org/10.3390/ma13132991>

Macuvele, D.L.P., Nones, J., Matsinhe, J.V., Lima, M.M., Soares, C., Fiori, M.A., Riella, H.G. (2017). Advances in ultra high molecular weight polyethylene/hydroxyapatite composites for biomedical applications: A brief review. *Materials Science and Engineering C*, 76: 1248-1262. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.02.070>

Paxton, N. C., Allenby, M.C., Lewis, P.M., Woodruff, M.A. (2019). Biomedical applications of polyethylene. *European Polymer Journal*, 118: 412-428. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2019.05.037>.

Ramesh, N., Moratti, S.C., Dias, G.J. (2018). Hydroxyapatite-polymer biocomposites for bone regeneration: A review of current trends. *Journal of Biomedical Materials Research - Part B Applied Biomaterials*. 106(5): 2046-2057. doi: 10.1002/jbm.b.33950.

Rosinski, C. L., Patel, S., Geever, B., Chiu, R.G., Chaker, A.N., Zakrzewski, J., Rosenberg, D.M., Parola, R., Shah, K., Behbahani, M., Mehta, A.I. (2020). A Retrospective Comparative Analysis of Titanium Mesh and Custom Implants for Cranioplasty. *Neurosurgery*. 2020 Jan 1;86(1): E15-E22. doi: 10.1093/neuros/nyz358.

Shekhawat, D., Singh, A., Bhardwaj, A., Patnaik, A. (2021). A Short Review on Polymer, Metal and Ceramic Based Implant Materials. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1017: 012038. DOI 10.1088/1757-899X/1017/1/012038

Thien, A., King, N.K., Ang, B.T., Wang, E., Ng, I. (2015). Comparison of Polyetheretherketone and Titanium Cranioplasty after Decompressive Craniectomy. *World Neurosurgery*, 83(2): 176-180. doi: 10.1016/j.wneu.2014.06.003.

Thrivikraman, G., Athirasala, A., Twohig, C., Boda, S.K., Bertassoni, L.E. (2018). Biomaterials For Craniofacial Bone Rgeneration. *Dental Clinics of North America*, 61(4): 835-856. doi: 10.1016/j.cden.2017.06.003.

Weber, F. (2019). Reconsidering Osteoconduction in the Era of Additive Manufacturing. *Tissue Engineering. Part B*, 25(5): 375-386. doi: 10.1089/ten.TEB.2019.0047.

Zhang, J., Tian, W., Chen, J., Yu, J., Zhang, J., Chen, J. (2019). The application of polyetheretherketone (PEEK) implants in cranioplasty. *Brain Research Bulletin*, 153: 143-149. doi: 10.1016/j.brainresbull.2019.08.010.

Avances en la inmovilización de enzimas Sobre superficies poliméricas y sus diferentes aplicaciones en la industria

Importance of enzymes immobilized on polymeric surfaces and their different applications in industry

Ricardo Gallardo Espinoza ¹, Rosa Idalia Narro Céspedes ¹, María Cristina Ibarra Alonso ¹

Adalí Oliva Castañeda Facio ¹, Anna Iliná^a, Luis Fernando Mora Cortés ²

¹ Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas, Ing. J. Cárdenas Valdez S/N, República, 25280, Saltillo, Coahuila, México

² Centro de investigación en química aplicada (CIQA) Enrique Reyna H. No. 140, San José de los Cerritos, 25294, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia para autor: Narro Céspedes
Universidad Autónoma de Coahuila
Correo electrónico: rinarro@uadec.edu.mx
(044) 844 880 97 97

Resumen

Las enzimas se consideran proteínas complejas que están formadas por aminoácidos específicos. Son de gran importancia en múltiples reacciones ya que actúan como catalizadores. Presentan ciertas ventajas como acelerar y regular la velocidad de reacción con alta especificidad en reacción que catalizan. Además de ser utilizadas por los organismos vivos pueden ser empleadas para un sin fin de

aplicaciones de importancia industrial, médica y de biorremediación entre otras. En la presente revisión se abordan los principales avances en la inmovilización de enzimas sobre materiales poliméricos, así como la importancia de su reutilización en diversas aplicaciones en la industria. Esta tecnología está generando grandes oportunidades dentro de diferentes campos de la ciencia principalmente alimentarias, fármacos, y ciencia de los materiales como la utilización de bioproductos de interés científico y económico dando como resultado la mejora en los procesos de producción. Es importante resaltar que este trabajo es de gran relevancia en el área ambiental, ya que visualiza materiales poliméricos de desecho que generan contaminación pero que pueden recuperarse y reutilizarse como soportes poliméricos en la inmovilización de enzimas, dándoles un valor agregado, y así ayudar con uno de los mayores problemas que afectan a la sociedad.

Palabras clave: inmovilización, enzimas, polímeros.

Abstract

Enzymes are considered complex proteins that are made up of specific amino acids. They are of great importance in multiple reactions since they act as catalysts. They have certain advantages, such as accelerating and regulating the reaction rate; the latter property is not present in chemical catalysts, which are also significant pollutants. Enzymes are particular since they act as a key that recognizes the substrate. Therefore, they can be used for many industrial, medical, and bioremediation applications besides being living organisms. They can be used for many industrial, medical, and bioremediation applications. The present review addresses the significant advances in immobilizing enzymes on polymeric materials and the importance of their reuse for various applications industry. This technology generates significant opportunities within different areas, mainly food, pharmaceuticals, and bioproducts, with a scientific and economic interest, resulting

in improved production processes. On the other hand, this work is essential since it visualizes polymeric waste materials that generate contamination but can be recovered and reused as polymeric supports immobilizing enzymes, giving them added value, thus helping with the problems of contamination in society.

Keywords: immobilization, enzyme, polymers

Introducción

En los últimos años la inmovilización de enzimas ha desarrollado novedosas investigaciones orientadas a diversas áreas de la ciencia como la alimentaria, la farmacéutica, textil y biorremediación entre otras. La utilización de enzimas como método biológico, permite una mejora significativa en la sustentabilidad, siendo su empleo ecológico, ya que utiliza principios de la química verde en su metodología. Sin embargo, es importante preparar la superficie de los materiales para inmovilizar las enzimas sobre estos. Para ello existen diversas técnicas que modifican las superficies con el fin que sean compatibles con las enzimas y también, se controlen a la par propiedades físicas, químicas y topográficas. Por otro lado, la inmovilización de enzimas cada día ha expandido más sus horizontes de aplicación debido a su versatilidad, bajo costo y que es ambientalmente benigna. El objetivo de esta revisión es difundir el conocimiento sobre las enzimas dando una visión general sobre ellas, su importancia al ser inmovilizadas sobre superficies no biodegradables como los polímeros, así como llevar al lector a visualizar las formas de utilización más novedosas en diversas áreas de la ciencia dando un valor agregado a este tipo de materiales que causan contaminación, pero pueden ser reutilizados generando oportunidades para beneficio social.

Las enzimas y su mecanismo de acción

Las enzimas se conocen como biocatalizadores de origen biológico procedentes de plantas, hongos y bacterias; son proteínas de elevado peso molecular y altamente específicas. El termino catalizar se define como la capacidad que tienen las enzimas para incrementar la velocidad con que se lleva a cabo una reacción. De algún modo esto se debe a que la formación de productos finales en una reacción requiere generalmente un aporte de energía que las enzimas reducen (Cardona Serrate, 2020). Sin embargo, para llevar a cabo procesos enzimáticos, se deben considerar aspectos importantes como el mantenimiento, la estabilidad estructural, los procesos para incrementar la eficiencia en su producción y facilitar su recuperación al final de la reacción. Actualmente, se ha logrado la inmovilización, purificación, y uso exitoso de enzimas en variados procesos biotecnológicos generando un gran interés dentro de diversos giros de la industria en general (Arana-Peña y col., 2021).

Los procesos catalizados por enzimas en la industria son de suma importancia, por lo que cada día son numerosos comparado con los catalizadores convencionales no biológicos. Además de la reducción del tiempo y energía utilizada en sus reacciones, presentan otras ventajas como la elevada especificidad, trabajan en condiciones suaves, son fácilmente accesibles y no alteran el medio ambiente, ya que utilizan los principios de la química verde (Cebrián Cabo, 2020)

Además, algunas enzimas pueden lograr modificar la forma de sus centros activos para adaptarse mejor al sustrato. En la Figura 1 se observa el modelamiento enzimático, donde la enzima se fija a la superficie del sustrato por medio de enlaces débiles, posteriormente se forma el complejo enzima-sustrato. En esta etapa se generan tensiones que vuelven frágiles los enlaces del sustrato, por lo que al llegar al estado de transición del complejo enzima-sustrato, se requiere mucho menos

energía que para llegar al estado de transición del sustrato solo, este proceso finaliza con la liberación de la enzima intacta al igual que el producto. Otra ventaja importante de las enzimas es que el proceso se realiza en un menor tiempo (Castañeda, 2019).

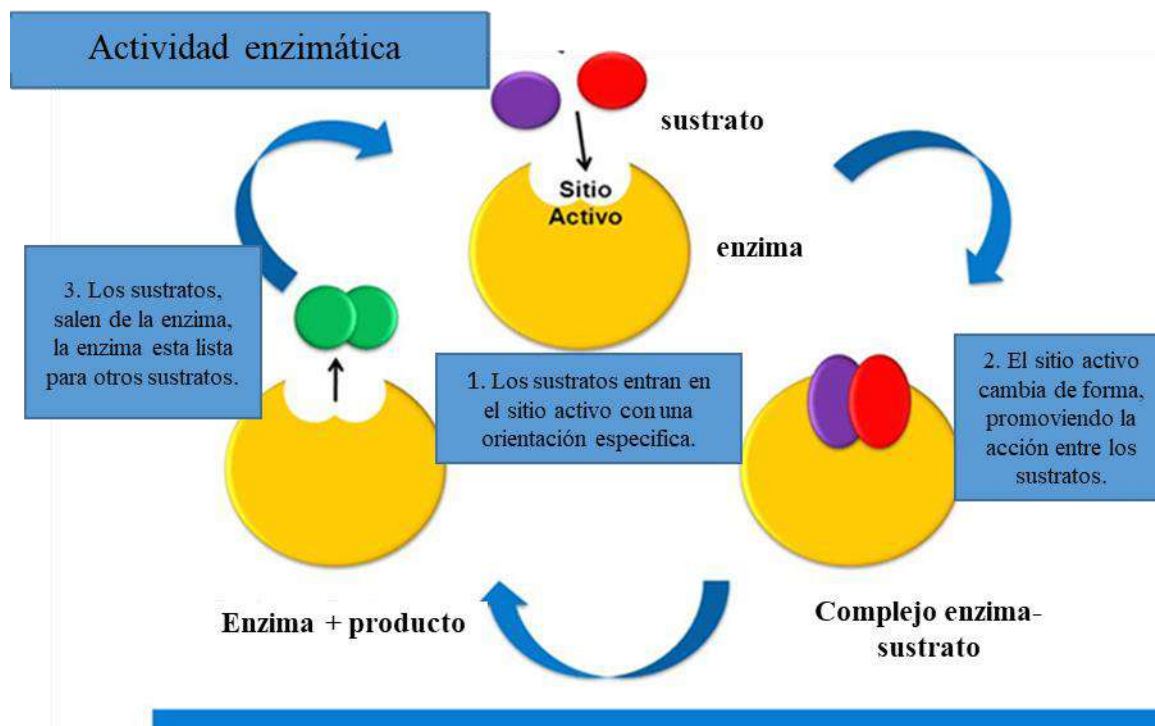


Figura 1. Actividad enzimática, unión enzima sustrato.

Clasificación de enzimas y sus aplicaciones

Actualmente existe una clasificación internacional de los tipos de enzimas la cual se adapta a su nomenclatura. El nombre incluye la reacción que cataliza y el sustrato sobre el cual trabaja (Madhumita & Prabhakar, s. f.). A continuación, en la Tabla 1 se presentan los 6 principales grupos de enzimas que existen.

Las enzimas son conocidas por ser excelentes catalizadores en muchas áreas de la industria.

Por ejemplo, en síntesis, de biocombustible, síntesis de fármacos, química de alimentos, biosensores, biorremediación (Elnashar, 2010). Es importante mencionar que, con el fin de acelerar el proceso de formación de las enzimas, actualmente los microorganismos utilizados son modificados genéticamente para beneficiarse de sus propiedades, esto debido a su rápido crecimiento, facilidad de manipulación genética y por el ahorro de espacio que supone su crecimiento y desarrollo (Coronado Arrázola, 2020). En la Tabla 2 se presenta un resumen de las principales enzimas, la fuente más común para fabricarlas, la acción enzimática que presentan, así como su aplicación tecnológica en las distintas industrias.

Tabla 1. Clasificación de las enzimas en base a la reacción específica que catalizan.

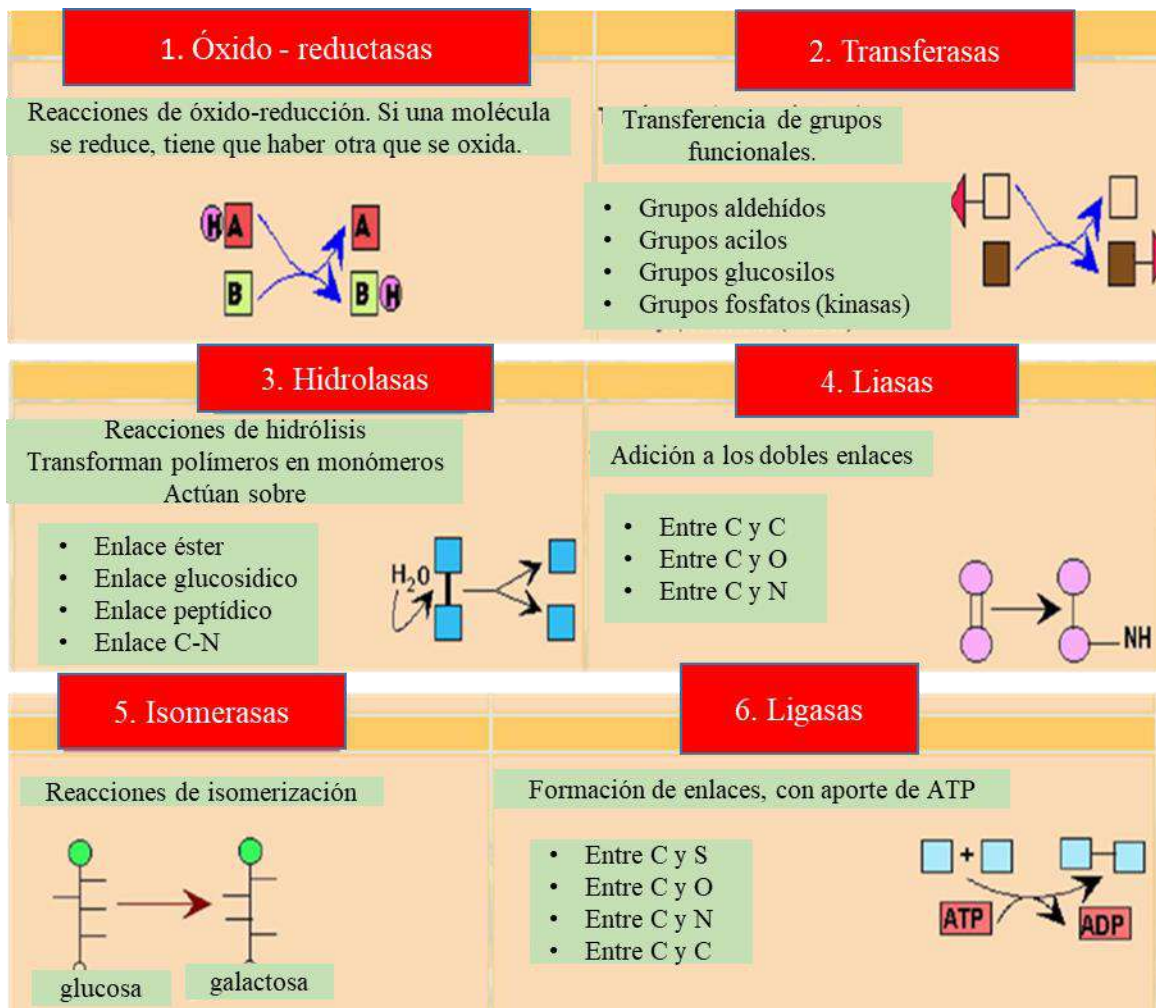


Tabla 2. Enzimas más utilizadas en la industria, la fuente de extracción, la acción y la aplicación tecnológica. Elaboración propia (Adaptada de (Lagos Susaeta, 2016).

Enzima	Fuente	Acción enzimática	Aplicación tecnológica
α-Acetolactato descarboxilasa	<i>B. subtilis</i>	Conversión de acetolactato a acetoína.	Reducción tiempo maduración del vino.

Amiloglucosidasa	<i>A. niger, Rhizopus spp.</i>	Hidrólisis de dextrina glucosa.	Producción de jarabes fructosados y cerveza.
Bromelina, ficina y papaína	<i>Piña, látex de higo y de papaya inmadura.</i>	Hidrólisis de proteínas del tejido conectivo y muscular.	Tenderización carne.
Catalasa	<i>A. niger, M. luteus</i>	Conversión del peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno	Junto glucosa oxidasa, remueve el oxígeno.
Celulasa	<i>A. niger Trichoderma spp.</i>	Hidrólisis de celulosa.	Ablandamiento de la fruta en jugos.
Dismutasa lactoperoxidasa	<i>Saliva y leche de mamíferos</i>	Oxida compuestos en presencia de agua y peróxido de hidrógeno.	Combinada con tiocianato oxidado y peróxido de hidrógeno da origen a compuestos antibacterianos.
Enzima	Fuente	Acción enzimática	Aplicación tecnológica
β-Glucanasa	<i>Aspergillus spp., Bacillus subtilis</i>	Hidrólisis de β -glucanos.	Evita la turbidez en la cerveza.
Glucosa isomerasa	<i>A. missouriensis, B. coagulans, S. lividans, S. rubiginosus</i>	Conversión de glucosa a fructosa.	Producción de jarabes partir de almidón.
Glucosa oxidasa	<i>A. Niger, P. chrysogenum</i>	Oxidación de glucosa a	Evita el pardeamiento en clara del huevo.

		ácido glucónico.	
Hemicelulasa y xilanasa	<i>Aspergillus spp., subtilis, T. reesei</i>	Hidrólisis de hemicelulosa	Mejora la textura del pan
Lacasa	<i>T. versicolor y hirsuta</i>	Reducción del oxígeno a agua con la oxidación de sustrato como diaminas aromáticas y polifenoles.	Gelatiniza la pectina de la remolacha en la fabricación de azúcar.
Lipasa y esterasa	<i>Aspergillus spp., B. subtilis, Rhizopus spp.</i>	Hidrólisis de triacilglicerol en ácidos grasos y glicero.	Sintetiza ésteres catalizan procesos biológicos.
Lipoxigenasa	<i>Bacillus spp., Klebsiella spp.</i>	Oxidación de ácidos grasos insaturados.	
Lisozima	<i>Huevo blanco</i>	Hidrólisis de la pared celular bacteriana.	Bacteriostático defensa Bacterial.
Pectinesterasa	<i>Aspergillus spp.</i>	Remoción de grupos metilo de las unidades de galactona en la pectina.	Despectinización separar y descomponer grupos pectinas.
Pentosanasa	<i>H. insolens, T. reesei</i>	Hidrólisis de pentosano.	Mejora la calidad y textura de la masa de panificación.
Pululanasa	<i>Bacillus spp., Klebsiella spp.</i>	Hidrólisis de enlaces $\alpha(1-6)$ del almidón.	Mejora la eficiencia de la sacarificación del almidón.

Las enzimas tienen una gran importancia dentro de los procesos biotecnológicos, por ello se utilizan en muchas aplicaciones y son usadas en el ámbito industrial, ofreciendo la ventaja de ejercer un control más estricto en la calidad de los productos (Ahlawat y col., 2018). En la Figura 2 se muestran algunas de las principales aplicaciones industriales de las enzimas.

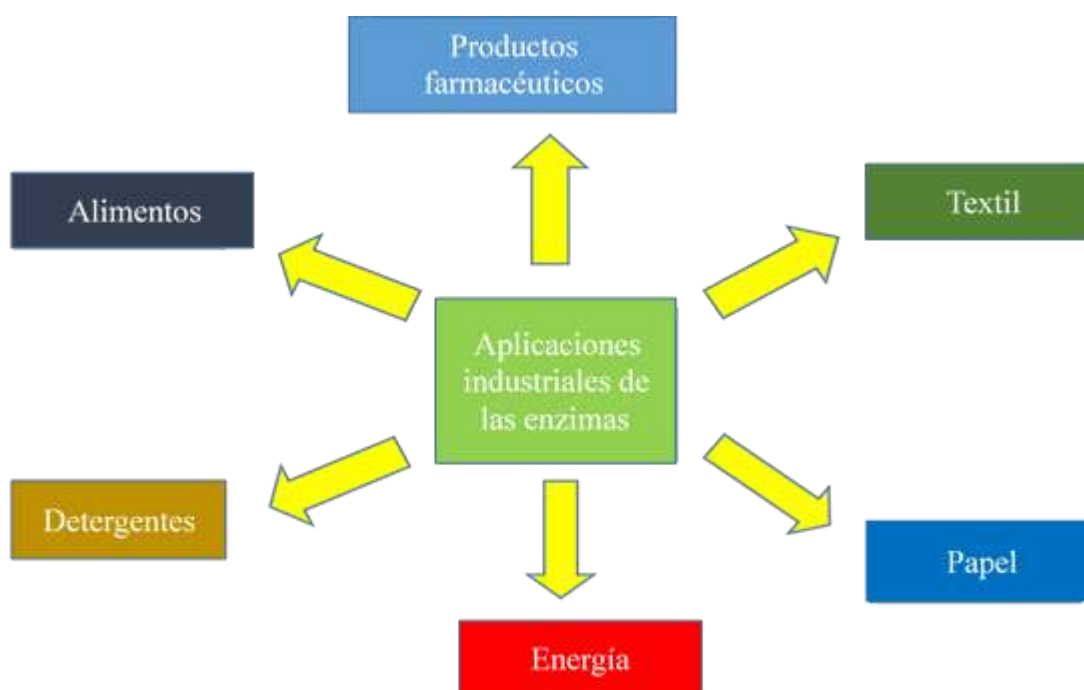


Figura 2. Principales aplicaciones de las enzimas en las diferentes áreas industriales. Elaboración propia.

La mayoría de los procesos biotecnológicos tradicionales como la obtención de yogurt, la producción de cerveza o la fermentación de la uva para fabricar vino, se realizan con el empleo de enzimas (Ortega –Ante, 2020). La mayor parte de las enzimas industriales se obtienen de microorganismos como hongos y bacterias,

entre ellas: proteasas de bacilos, amiloglucosidasa, amilasa de bacilo, glucosa, isomerasa, pectinasa, proteasa fúngica (Salazar Carranza y col., 2020). Por otra parte, las enzimas tienen numerosas aplicaciones en la industria química, alimentaria, farmacéutica, textil y ambiental entre otras. En nuestra vida cotidiana están presentes las enzimas, de gran utilidad son las proteasas, amilasas o lipasas, que forman parte de los detergentes (Jasso & Gabriel, 2018).

Inmovilización de enzimas

Una enzima inmovilizada se puede definir como aquella enzima que se encuentra confinada en un espacio definido, en el que se retiene su actividad catalítica y puede ser reutilizada continuamente. En los últimos años esta técnica ha resultado de gran interés para el área de la biotecnología y ha experimentado grandes avances (Pimentel, 2021).

La inmovilización de enzimas es una tecnología que genera un mejor y mayor uso de la enzima. Por lo tanto, se ha logrado que muchos procesos industriales y biocatalizados sean rentables económicamente, ya que genera productos con mejores características y menor costo, optimizando el rendimiento operativo en procesos industriales, debido a sus excelentes propiedades catalíticas tales como (actividad, selectividad y especificidad) por lo que son capaces de catalizar los procesos químicos más complejos (Evangelista Martínez y col., 2017).

Métodos de inmovilización de enzimas

En la naturaleza existen diferentes tipos de enzimas, con estructuras y funciones diferentes. Por tal motivo, seleccionar la forma más adecuada de inmovilizar una enzima es fundamental para asegurar que mediante la inmovilización se continúe manteniendo su efectividad. Las enzimas pueden ser inmovilizadas por dos métodos: retención física o por unión química (Sánchez-Ramírez y col., 2014). Como se observa en la Figura 3 en el apartado A esta la unión química, la cual

puede ser dividida en unión covalente, adsorción iónica y entrecruzamiento o reticulado. En el apartado B se encuentra la unión física, con las dos formas de inmovilización diferentes: atrapamiento y encapsulación, posteriormente se describen cada una de las técnicas utilizadas en la inmovilización.

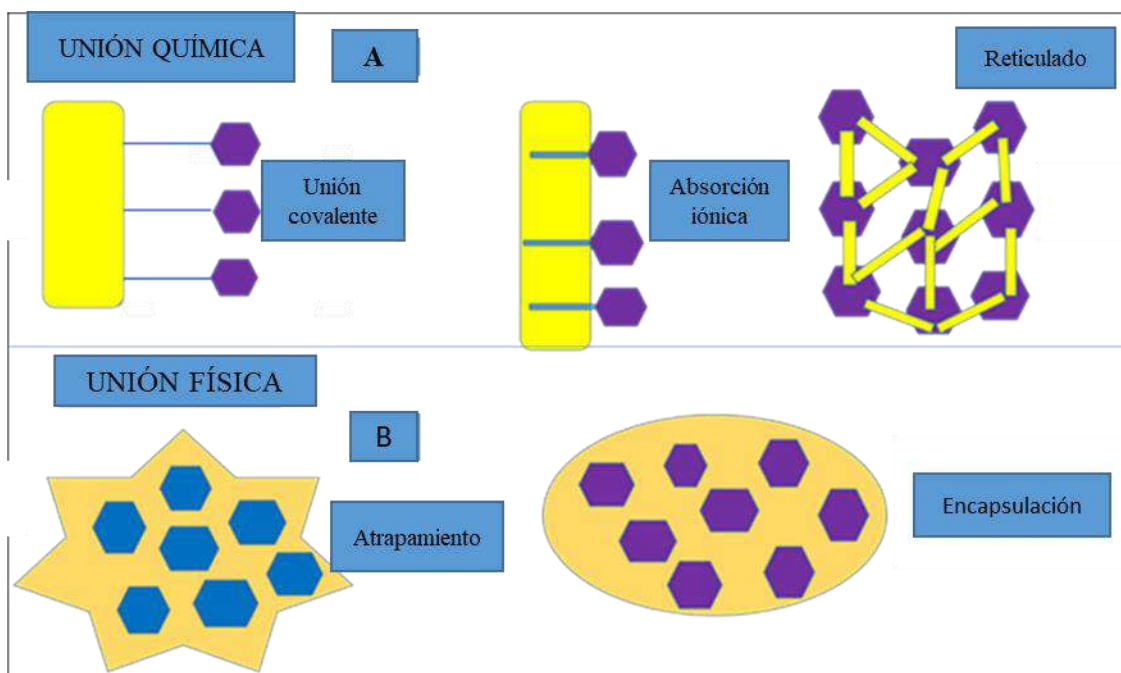


Figura 3. Formas principales de inmovilización de las enzimas según el tipo de unión, elaboración propia, adaptación de proceso de referencia (Sánchez-Ramírez y col., 2014).

La inmovilización por absorción en un material resulta de las interacciones entre las enzimas y la superficie donde es confinado. La absorción se puede llevar a cabo gracias a las interacciones de puentes de hidrogeno y Van der Waals entre otras, aquí la enzima adsorbida no está fija en un lugar específico de la superficie. En la inmovilización por adsorción, las enzimas están protegidas ante la degradación, la proteólisis y la interacción con interfaces hidrófobas. Sin embargo, también es una ventaja porque con el pH adecuado se puede recuperar la enzima para almacenarla

nuevamente si es necesario. En este método influyen cuatro principales factores (Casique-Arroyo y col., 2014):

- pH del medio: responsable del grado de acidez o alcalinidad de la sustancia o de la solución y de la naturaleza de las cargas que presenta la superficie de la proteína y del sólido (Maya Toro y col., 2018).
- Fuerza iónica: al aumentarla se produce la desorción de la enzima, ya que los iones inorgánicos se unen con más fuerza al soporte que la proteína (Godoy y col., 2018)
- El diámetro de poro: debe ser aproximadamente dos veces el tamaño del eje mayor de la enzima (Martínez-Damián y col., 2013).
- La presencia de iones: actúan como cofactores de la enzima, ya que pueden incrementar la carga enzimática (Jaimes-Santoyo y col., 2014).

Por otra parte, la inmovilización covalente, se basa en el entrecruzamiento de la enzima y el material del soporte generando un enlace fuerte y estable. Este enlace es constituido en el grupo funcional de la matriz del soporte y la superficie de la enzima que contiene residuos de aminoácidos. La unión covalente es formada entre los grupos funcionales pertenecientes a los residuos de aminoácidos en la superficie de la enzima. Los materiales utilizados en este método incluyen poliacrilamida, agarosa y silica (Cacho Salán, 2020).

Otra técnica utilizada es el entrecruzamiento, el cual ha sido empleado para muchos tipos de enzimas, donde la enzima es el propio soporte (Corell Escuin y col., 2017). En esta técnica, las enzimas se inmovilizan unas con otras o mediante un agente de unión que ayuda a generar enlaces entre ellas. La ventaja de este método es la sencillez de su elaboración, así como el tipo de unión es covalente, tanto entre enzimas, como

enzimas y agente de unión. Sin embargo, el principal problema es su susceptibilidad a cambios de pH y temperatura del medio, ya que no son capaces de soportarlas en un parámetro dado. Los enlaces resultantes de la inmovilización son de carácter intermolecular irreversibles, factor que es considerado muy limitante para el uso de enzimas (Fajardo Ochoa y col., 2011).

Otro método utilizado en la técnica física es la micro-encapsulación, esta técnica consiste en rodear enzimas con membranas semipermeables, que den acceso del producto hacia el interior, pero no el de las enzimas al exterior (Castromonte y col., 2020). Estas membranas pueden ser permanentes, originadas por polimerización interfacial, o no permanentes generadas por surfactantes, también conocidas como “micelas reversas”. El método se puede llevar a cabo mediante dos tipos de soportes, uno es mediante soportes porosos que permiten el mayor paso de sustrato, pero con mayor pérdida de la enzima y el otro es con una microemulsión, que no dejan tanto el paso del sustrato, pero retienen más la enzima (Kuiper y col., 2008). Ambos métodos se pueden combinar para fortalecer las ventajas del otro y tener más acciones de actuación en las reacciones.

Materiales utilizados como soportes en la inmovilización

Así como existen diferentes técnicas para lograr la inmovilización de enzimas, también se pueden encontrar nuevos métodos, y soportes más avanzados y modernos. La mayoría de estos están basados en la utilización de nanoestructuras, ya que son un nuevo campo de investigación de los materiales para la inmovilización de enzimas (Cabral y col., 2018).

Las características de las matrices o soportes son de gran importancia en la determinación de la eficiencia del sistema de inmovilización de enzimas. Los soportes pueden clasificarse en base a su forma, tamaños, propiedades físicas y

químicas, además de que pueden ser inorgánicos, orgánicos y polímeros sintéticos (Ariza León y col., 2013).

Soportes inorgánicos: este grupo se subdivide en los que pueden ser naturales (arcillas como la bentonita, zeolitas, piedra pómez, carbón, sílice) o materiales manufacturados (óxidos de metales y vidrio de tamaño de poro controlado, vidrio no poroso, alúmina, cerámicas, gel de sílice) (Rangel Ortiz, 2019).

Entre los soportes naturales más utilizados, tenemos las partículas de silicio o sílice que han sido ampliamente estudiadas para la inmovilización de enzimas (Beltrán & Castrillón, 2015) unieron la papaína a una matriz de aluminosilicatos nanoestructurados mediante la unión de enlaces covalentes, desarrollando la inmovilización de proteasas en nanopartículas.

Después del proceso de inmovilización, determinaron la actividad enzimática para estimular su uso en la hidrólisis de ingredientes proteicos, los cuales son utilizados en la elaboración de alimentos. Encontraron que este tipo de soportes presentan gran resistencia mecánica, estabilidad química, son biocompatibles con varias enzimas y no presentan toxicidad, ya que no interactúan con los productos. Las nanopartículas de sílice son aquellas que comprenden entre 1 y 100 nm de diámetro. La inmovilización que se realiza más a menudo con ellas es mediante enlaces covalentes, aunque también son utilizados la adsorción y la reticulación, pero en menor proporción. En los últimos años, este tipo nanopartículas inorgánicas han sido estudiadas, con el objeto de ser utilizadas en tratamientos terapéuticos en los campos biomédicos, debido principalmente propiedades físicas, químicas y biológicas, así como su fácil funcionalización superficial y su excelente biocompatibilidad (Vergara-Duque y col., 2020).

En otro estudio realizado por Quilis Romero (2019) utilizaron como soporte para la inmovilización de la enzima secretada por la bacteria *Bacillus licheniformes*, zeolitas deslaminadas del tipo ITQ-2 con diferente reacción Si/Al. Así también realizaron la caracterización completa de los complejos formados. Para comprobar la eficacia de los biocatalizadores sintetizados utilizados como soporte, estudiaron la reacción de

hidrólisis del enlace peptídico de las proteínas presentes en la harina de cáñamo, catalizada por la enzima proteasa.

Liu y col. (2019) en calidad de soporte consideraron un material inorgánico como la zeolita. Ellos utilizaron un derivado enzimático basado en una enzima hidrolítica, como la naringinasa, inmovilizándola sobre zeolitas laminares por medio de enlaces covalentes. Este estudio se realizó, con el objetivo de observar la capacidad del incremento en la estabilidad térmica, estabilidad a diferentes pH, actividad catalítica y afinidad por el sustrato, con respecto de la enzima libre sin inmovilizar. Además, cuantificaron la reutilización del derivado enzimático sin disminución de la actividad catalítica.

Entre las nanopartículas manufacturadas más utilizadas, tenemos a las nanopartículas de oro y nanopartículas magnéticas. Las nanopartículas de oro, es un material que ha empezado a ser utilizado en los últimos años, su uso es gracias a que posee características como, facilidad de preparación del material, capacidad de ajuste del tamaño del poro, alta superficie específica y sobre todo su compatibilidad con las enzimas. Además, debido a su rápida unión y durabilidad, la inmovilización se realiza mediante atrapamiento y reticulación. Este material se caracteriza por poseer un óxido estable, lo que hace que sea más manejable en condiciones atmosféricas y lo convierte en un material mayormente utilizado (Castellanos Perilla y col., 2018). Además, se ha trabajado con electrodos modificados con nanopartículas de oro y su aplicación en biosensores electroquímicos, empleando la enzima Peroxidasa obtenida del rábano, como sistema de bioreconocimiento biológico y detector de peróxido de hidrogeno (Espinoza Montero & Fernández Martínez, 2020)

Por otro lado, las nanopartículas magnéticas son consideradas soportes inorgánicos. La inmovilización sobre nanopartículas magnéticas es una nueva técnica, la cual ha despertado el interés gracias a sus propiedades como material del soporte. Los materiales magnéticos poseen propiedades físicas, químicas y estructurales que favorecen la recuperación. Esto facilita retirar la enzima una vez

que esta ejerce su acción. Además, las nanopartículas magnéticas se les puede inducir con un campo magnético externo, creado por un dipolo o momento magnético para recuperarlas (Peralta, 2021). Lo que facilita la reutilización del material, la prolongación de ciclos de aplicaciones sucesivas y el tiempo de vida útil. Por otro lado, se ha estudiado, la inmovilización de las enzimas xilanas y celulasa sobre un soporte magnético de quitosano, para la obtención de oligosacáridos a partir de un desecho agroindustrial. Mediante un anclaje de las enzimas al soporte por el método de coprecipitación química, generando resultados tras la inmovilización como estabilidad térmica y resistencia a valores de pH ácido, así como mayor estabilidad en la actividad catalítica (Hernández, 2017).

También existen otros tipos de soporte inorgánicos tanto naturales y sintéticos. Entre los soportes inorgánicos naturales más importantes se encuentran arcillas como la bentonita, piedra pómez y sílice y dentro de los soportes inorgánicos sintéticos están los diferentes óxidos metálicos, nanopartículas magnéticas, nanopartículas metálicas, vidrio de poro controlado y vidrio no poroso, alúmina y gel de sílice (Rangel Ortiz, 2019).

Soportes poliméricos: Actualmente se han buscado soportes que presenten características esenciales para inmovilizar enzimas, uno de ellos son los soportes poliméricos como materia prima. Existen diferentes tipos de soportes poliméricos, los cuales se pueden clasificar de la siguiente manera.

- Polímeros naturales:
 - Polisacáridos (celulosa, almidón, dextranos, agar-agar, agarosa, alginatos, quitina, quitosano, etc.)
- Polímeros sintéticos:
 - Poliolefinas (como el poliestireno).

- Polímeros acrílicos (poliacrilatos, poliacrilamidas, polimetacrilatos, etc.) otros tipos (alcohol polivinílico, poliamidas, etc.) (Gómez-Chávez, 2020).

Algunos estudios utilizan como base soportes poliméricos como la obtención de microesferas poliméricas con actividad enzimática para la degradación catalítica de plaguicidas en medio acuoso. Por lo que se han sintetizado microesferas de poli (glicidil metacrilato), con dos tipos de grupos funcionales superficiales tales como la hidracina y oxirano para la obtención de biocatalizadores con amplio rango de pH para aplicaciones en la degradación de compuestos recalcitrantes a nivel científico e industrial (Ruiz y col., 2020).

Además, se ha estudiado la inmovilización de la lipasa sobre un soporte de quitosano para el tratamiento de agua, con contenido de grasa y aceites de origen animal. Por lo que se usaron tres tamaños de partícula del soporte de 1520 μm , 1684 μm y 2000 μm en un método irreversible de entrecruzamiento con glutaraldehído. El estudio permitió inmovilizar la enzima catalítica en periodos prolongados (Valenzuela-Jaramillo y col., 2022).

Por otra parte, se han usado sustancias poliméricas extracelulares inmovilizadas en un polisacárido aniónico como el alginato de sodio para absorber metales pesados como Pb^{2+} , cromo (Cr^{4+}) y cobre (Cu^{2+}) contenidos en una matriz acuosa sintética. Encontrando que las perlas con sustancias poliméricas extracelulares inmovilizadas presentan gran potencial para ser utilizadas como biosorbente, en el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados (Mesías y col., 2022)

Acorde con esto, los últimos años la inmovilización de enzimas en soportes poliméricos es de gran importancia dado que pueden contener grupos funcionales reactivos en sus cadenas poliméricas que los funcionalizan para aumentar su reactividad, funcionalidad y potencializar sus propiedades (Kakaei y col., 2019).

La Figura 4 muestra de manera visual la clasificación dependiendo del origen de los principales tipos de soportes utilizados para la inmovilización enzimática (Meneau-Hernández y col., 2021).

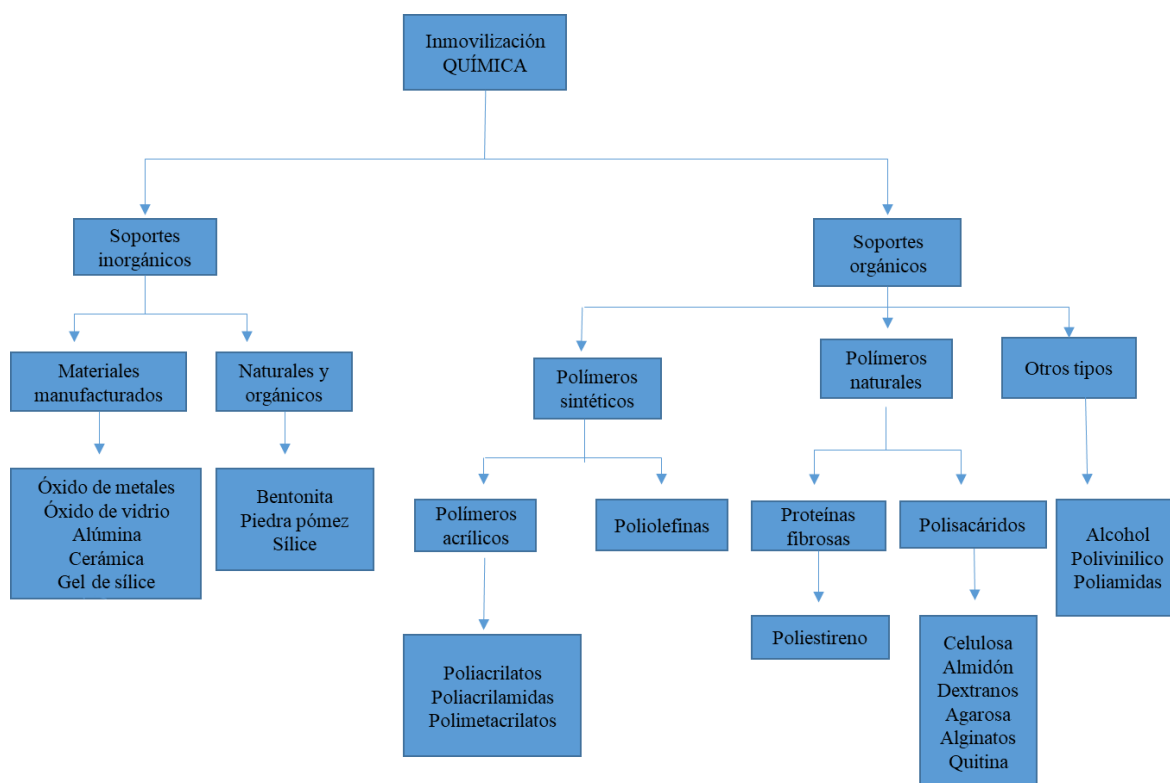


Figura 4. Materiales más utilizados en la inmovilización de enzimas según su origen pueden ser orgánicos o inorgánicos elaboración propia.

Al seleccionar algún tipo de inmovilización, se debe tener en cuenta la reacción y condiciones en las que se va a desarrollar. Tal es el caso de los soportes en los que se lleva a cabo la inmovilización, ya que deben presentar resistencia mecánica adecuada a las condiciones de operación, ser fácilmente separable del medio para que pueda ser reutilizado (Darwesh y col., 2020). Además, debe presentar afinidad entre el material que se utilizara de soporte y la enzima que se pretende inmovilizar,

para lo cual los grupos funcionales que contengan tanto la enzima como el soporte interaccionen entre sí para dar lugar a diferentes tipos de reacciones como esterificación, hidrólisis y oxidación. Este tipo de reacciones dependerá específicamente de los grupos funcionales que estén relacionando en cuestión. En la Tabla 3, se explican los tipos de soportes afines a algún tipo de enzima específica y la reacción que entre ellos se lleva a cabo. Cabe mencionar que, aunque en ocasiones, el soporte en cuestión, no contenga el grupo funcional requerido en su superficie, para que puedan llevar a cabo cierta reacción específica que pueda lograr la inmovilización de la enzima. Sin embargo, esto es posible por otros métodos, donde se requiere principalmente manipular las propiedades superficiales del soporte, para introducir en la superficie de este, el grupo funcionales requerido para que la reacción pueda llevarse a cabo (Mérida y col., 2021). Entre las técnicas que están llamando más la atención para llevar a cabo estos procedimientos, se encuentra la modificación superficial por plasma (Ñañez Azaña, 2021).

En la siguiente tabla se muestran los diversos materiales utilizados como soportes sólidos de diversas naturalezas (orgánicos e inorgánicos, naturales y sintéticos) en los que se puede realizar la inmovilización de enzimas. Entre los que destacan se encuentran los soportes poliméricos sintéticos y las nanopartículas metálicas magnéticas que no son biodegradables, debido a que gracias a ellos el material con la enzima inmovilizada puede ser recuperado y reutilizado varias veces, no así cuando la enzima se inmoviliza en un material biodegradable como el quitosano, por ejemplo. Sin embargo, los soportes poliméricos sintéticos representan una mayor ventaja que las nanopartículas metálicas magnéticas, debido a que actualmente estos están ocasionando una grave problemática de contaminación, que podría ser minimizada con su reutilización en esta tecnología para darle un mayor valor agregado a este producto y un uso con un mayor tiempo de vida (Rodríguez Llegado, 2019)

Tabla 3. Tipos de materiales utilizados como soportes sólidos para la inmovilización de enzimas, así como la reacción de aplicación. Elaboración propia.

Materiales aplicados como soporte sólido en inmovilización de enzimas		
Material de soporte	Enzima inmovilizada	Reacción de aplicación
Sílice	CALB	Esterificación
Zeolitas	Proteasa alcalina de <i>Solanum melongena</i>	Hidrólisis de caseína
Carbono activado	Tirosinasa, glucosa	Oxidación D-glucosa y
Nanotubos de	oxidasa,	L-3,4dihidroxifenilalanina
Carbono	CALB	Hidrólisis de p-NO ₂ Ph-palmitato
Al ₂ O ₃	Cloroperoxidasa	Oxidación de dibenzotiofeno
ZrO ₂	α-amilasa	Hidrólisis de almidón
Dióxido de estaño	Lipasa de <i>Rhizopus delemar</i>	Esterificación
Magnetita	Lipasa de <i>Candida rugosa</i>	Hidrólisis de tributirina
Alginato	Xilanasas de levan	Hidrólisis de xilanos
Quitosano	Inulinasa de levadura	Hidrólisis de inulina
Colágeno	Catalasa	Descomposición de H ₂ O ₂
Gelatina	α-amilasa	Hidrólisis de almidón
Poliestireno	Deshidrogenasa	Conversión de formaldehído a metanol
Variantes de Poliacrilato	<i>Thermomyces lanuginosa</i> , <i>Rizomucor mehliae</i> , CALB	Hidrólisis de tristearina, Esterificación

Poliamida	Lipasa de <i>Bacillus coagulans</i>	Hidrólisis de p-NO ₂ Ph-palmitato
Fibra de coco verde	Lacasa	Degradación de colorantes textiles
Fibra de tallos de maíz	Amilasa, Lipasa	X
Membrana Interna De Cáscara De Huevo	Oxalato oxidasa, glucosa oxidasa, Peroxidasa	X

En la Tabla 3 se aprecian las reacciones que destacan y son más comunes en el proceso de la inmovilización por ejemplo la hidrólisis y la esterificación. Esta última es la reacción que se caracteriza por sintetizar ésteres, sustancias de gran importancia a nivel industrial, y están presentes en los productos naturales de origen animal y vegetal. Por otra parte, la hidrólisis también se caracteriza por ser una reacción química que se da entre moléculas o iones tanto inorgánicos como orgánicos (Caglieri & Macaño, 2010).

Conclusiones

En esta revisión se abordaron avances de las enzimas inmovilizadas sobre materiales poliméricos naturales y sintéticos, así como inorgánicos de los últimos años, presentando las ventajas de unos con respecto a otros. Se encontró que la inmovilización de enzimas es una de las técnicas más prometedoras para el desarrollo de los procesos biotecnológicos en el ámbito de la investigación por ser económica, rápida y ambientalmente benigna ya que no genera residuos, por lo que su aplicación se ha diversificado y se han mejorado procesos de producción en la industria, en el área de alimentos, biotecnología, farmacia, bioproductos de interés

científico y económico, en la resolución de problemas ambientales para la eliminación de contaminantes, entre otros.

Por otro lado, la utilización de soportes a partir de materiales poliméricos sintéticos y/o nanopartículas magnéticas que se pueden recuperar representa un beneficio extra en la inmovilización de enzimas y la reutilización de estos materiales, principalmente de los materiales poliméricos sintéticos que son un problema de emergencia internacional por la contaminación que están ocasionando y que esta investigación los convierte en una alternativa de gran importancia precisamente por ser de no fácil degradación y que pueden ser recuperados y reutilizados con facilidad, como soportes para inmovilización de enzimas y como solución de los desechos poliméricos que pueden volver a ser reutilizados con un valor agregado, con el fin de mitigar problemas que afectan a la sociedad.

Por otro lado, el desarrollo de esta técnica se sigue estudiando, con el fin de descubrir y encontrar nuevas aplicaciones y materiales o combinación de estos mejorados, que a futuro pueden proporcionar la solución de problemas en los ámbitos que enfrenta la sociedad. Es importante generar investigaciones de revisiones como la presente con el fin de visualizar y generar oportunidades de investigaciones, para expandir el conocimiento y generar beneficios a la sociedad.

Agradecimientos

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca con No. CVU 1183277 para la realización de este posgrado. Se agradece también al COECYT y al Gobierno del Estado de Coahuila por medio del fondo FONCYT por el financiamiento para la realización de esta investigación. Se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila, por ofrecer el posgrado en Ciencia y Tecnología Química, y a su vez, proporcionar las instalaciones y equipos necesarios para el desarrollo de ese trabajo.

Referencias bibliográficas

- Ahlawat, J., Henriquez, G., & Narayan, M. (2018). Enhancing the Delivery of Chemotherapeutics: Role of Biodegradable Polymeric Nanoparticles. *Molecules*, 23(9): 2157 Article 9. <https://doi.org/10.3390/molecules23092157>
- Arana-Peña, S., Carballares, D., Morellon-Sterling, R., Berenguer-Murcia, Á., Alcántara, A. R., Rodrigues, R. C., & Fernandez-Lafuente, R. (2021). Enzyme co-immobilization: Always the biocatalyst designers' choice...or not? *Biotechnology Advances*, 51:107584. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107584>
- Ariza León, E., Castro Cely, A. L., & Gómez Cañon, D. (2013). Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *Revista ION*, 26(1): 63-71.
- Beltrán, E. D., & Castrillón, M. T. V. (2015). Inmovilización de proteasas en nanopartículas. *Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa*, 2(4): Article 4. <https://www.pag.org.mx/index.php/PAG/article/view/387>
- Cabral, H. A., Adame, J. J. D., Neria, G. C., Constantino, C. A. L., & Hernández, R. I. B. (2018). Inmovilización de enzimas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 5(10): Article 10. <https://doi.org/10.29057/icbi.v5i10.2895>

- Cacho Salán, B. (2020). *Recientes avances y aplicaciones de la enzima glucosa oxidasa inmovilizada por unión covalente* [Tesis Maestría, universidad de Valladolid] <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/45283>
- Caglieri, S. C., & Macaño, H. R. (2010). Estudio Teórico de la Hidrólisis de Ésteres Alifáticos y Aromáticos. *Información tecnológica*, 21(4): 67-73. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642010000400009>
- Cardona Serrate, F. (2020). *Los enzimas. Introducción a la enzimología*. [Tesis Doctoral Universidad Nacional del Sur, Argentina, México]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/146362>
- Casique-Arroyo, G., Martínez-Gallardo, N., Vara, L. G. de la, & Délano-Frier, J. P. (2014). Betacyanin Biosynthetic Genes and Enzymes Are Differentially Induced by (a)biotic Stress in *Amaranthus hypochondriacus*. *PLOS ONE*, 9(6): e99012. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0099012>
- Castañeda, M. T. (2019). *Enzimas de interés biotecnológico*. [Tesis Doctoral Universidad nacional de la plata]. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/89649>
- Castellanos Perilla, M. V., Sánchez Díaz, D. C., Pataquiva Mateus, A., Echeverry Ocampo, M. A., Dotor Robayo, Á. L., & Ramos Kalmar, E. (2018). Nanoestructuración y experimentación de fibras proteicas para superficies textiles y moda sostenible. *Ingeniare*, 24: 47-64.
- Castromonte, M., Wacyk, J., Valenzuela, C., Castromonte, M., Wacyk, J., & Valenzuela, C. (2020). Encapsulación de extractos antioxidantes desde sub-

- productos agroindustriales: Una revisión. *Revista chilena de nutrición*, 47(5): 836-847. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182020000500836>
- Cebrián Cabo, S. (2020). *Nuevos métodos y soportes para la inmovilización de enzimas*. [Tesis Maestría, Universidad Politécnica de Valencia] <https://riunet.upv.es/handle/10251/147843>
- Corell Escuin, P., García-Bennett, A., Ros-Lis, J. V., Argüelles Foix, A., & Andrés, A. (2017). Application of mesoporous silica materials for the immobilization of polyphenol oxidase. *Food Chemistry*, 217: 360-363. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.027>
- Coronado Arrázola, I. (2020). *Characterization of bacterial heme oxygenase ChuS of probiotic strain E. coli Nissle 1917 and its potential therapeutic uses*. *Frontiers in immunology*, 9: 1956. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/BIO/28911>
- Darwesh, O. M., Ali, S. S., Matter, I. A., Elsamahy, T., & Mahmoud, Y. A. (2020). Chapter Twenty—Enzymes immobilization onto magnetic nanoparticles to improve industrial and environmental applications. En C. V. Kumar (Ed.), *Methods in Enzymology* (Vol. 630, pp. 481-502). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/bs.mie.2019.11.006>
- Elnashar, M. M. M. (2010). Review Article: Immobilized Molecules Using Biomaterials and Nanobiotechnology. *Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology*, 01(01): Article 01. <https://doi.org/10.4236/jbnp.2010.11008>

- Espinoza Montero, P. J., & Fernández Martínez, L. M. (2020). *Electrodos modificados con nanopartículas de oro y su aplicación en biosensores electriquímicos que utilizan peroxidasa de rábano como sistema de bioreconocimiento biológico: Detección de peróxido de hidrógeno*. Repositorio de publicaciones científicas de la Pontificia Universidad del Ecuador. <https://doi.org/10.26807/ia.vi.179>
- Evangelista Martínez, Z., Enríquez, R., & Gabriel. (2017). *Potencial biotecnológico de las actinobacterias aisladas de suelos de México como fuente natural de moléculas bioactivas: Compuestos antimicrobianos y enzimas hidrolíticas*. REPOSITORIO NACIONAL CONACYT <http://repositorio.utm.mx:8080/jspui/handle/123456789/364>
- Fajardo Ochoa, R., Osuna-Castro, J., Villa Velázquez, C., Escalante-Minakata, P., & Ibarra-Junquera, V. (2011). Inmovilización de células y enzimas. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila*, 3: 42-56.
- Godoy, C. A., Rodríguez Stouvenel, A., Rodríguez, D. F., Medina, J., & Sinisterra, J. C. (2018). *Biocatalizadores basados en lipasas coinmovilizadas para la síntesis de esteres etílicos de ácidos grasos*. Biblioteca Digital Universidad del Valle <http://hdl.net/10893/11114>
- Gómez-Chávez, L. (2020). Polímeros. *Con-Ciencia Boletín Científico de la Escuela Preparatoria No. 3*, 7(13): Article 13
- Hernández, A. D. (2017). *Co-inmovilización de una xilanasa y celulasa en un soporte magnético de quitosano para la obtención de oligosacáridos a partir de un*

desecho agroindustrial. [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Querétaro] <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1337>

Jaimes-Santoyo, J., Montesinos-Sampedro, A. de, Barbosa-Cobos, R. E., Moreno-Mutio, S. G., Rodríguez-Ballesteros, D., Ramos-Cervantes, T., Ocharán-Hernández, M. E., Toscano-Garibay, J., & Beltrán-Ramírez, O. (2014). El Citocromo P-450. *Revista del Hospital Juárez de México*, 81(4): 250-256.

Jasso, B., & Gabriel, J. (2018). *Efecto de enzimas comerciales sobre la liberación de compuestos fitoquímicos de subproductos agroindustriales y evaluación de sus propiedades* [Tesis de maestría en ciencias en el área de biotecnología] universidad Autónoma de aguas calientes. Centro de Ciencias Básicas. Departamento de Quimica. <http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/1673>

Kakaei, K., Esrafil, M. D., & Ehsani, A. (2019). Chapter 1—Introduction to Catalysis. En K. Kakaei, M. D. Esrafil, & A. Ehsani (Eds.), *Interface Science and Technology* (Vol. 27, pp. 1-21). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814523-4.00001-0>

Lagos Susaeta, D. I. (2016). *Producción de ácido pirúvico y gliceraldehído a partir de alginato mediante inmovilización enzimática en superficie celular* [Tesis de Maestría, Universidad de Chile Facultad de Ciencias y Matemáticas] <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/143659>

Liu, L., Lopez-Haro, M., Lopes, C. W., Li, C., Concepcion, P., Simonelli, L., Calvino, J. J., & Corma, A. (2019). Regioselective generation and reactivity control of

subnanometric platinum clusters in zeolites for high-temperature catalysis.

Nature Materials, 18(8): Article 8. <https://doi.org/10.1038/s41563-019-0412-6>

Madhumita, M., & Prabhakar, P. K. s. f. (2019). Inmovilización de enzimas en la alimentación y la agricultura: Principios, prácticas y perspectivas futuras.

(Primera edición). New York: Ed. Apple Academic Press. S.A. 4404 Pp.

Martínez-Damián, M. T., Cruz-Álvarez, O., Beryl Colinas-León, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., & Ramírez-Ramírez, S. P. (2013). Actividad enzimática y capacidad antioxidante en menta (*Mentha piperita* L.) almacenada bajo refrigeración. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1): 57-69.

Maya Toro, G., Herrera, J. J., Orrego, J. A., Rojas, F., Rueda, M. F., & Manrique, E. J. (2018). Effect of ionic composition in water: Oil interactions in adjusted brine chemistry waterflooding: preliminary results. *Fuentes: El Reventón Energético*, 16(2): 73-82.

Meneau-Hernández, R. I., Millán-Arrieta, J. A., Borrego-Morales, K., Alba-Carranza, M. D., Farías-Piñeira, T., Meneau-Hernández, R. I., Millán-Arrieta, J. A., Borrego-Morales, K., Alba-Carranza, M. D., & Farías-Piñeira, T. (2021). Adsorción de ciprofloxacina en materiales zeolíticos. *Revista Cubana de Química*, 33(1): 167-190.

Mérida, J. B. S., Hernández, E. M. T., & Maldonado, C. L. V. (2021). La Ciencia de los Polímeros Biodegradables. *Jóvenes en la Ciencia: XXVI Verano de la Ciencia. Vol. 10(2021)*. <http://repositorio.ugto.mx/handle/20.500.12059/6021>

- Mesías, J. A. A., Macías, L. L. D., Delgado, E. A. R., & Maddela, N. R. (2022). Adsorción de metales pesados utilizando sustancias poliméricas extracelulares inmovilizadas en un polisacárido aniónico. *Revista Colón Ciencias, Tecnología y Negocios*, 9(1): 114-133.
- Ñañez Azaña, R. E. (2021). *Modificación superficial de polímeros por tratamientos químicos y físicos* [Tesis de Licenciatura, Pontificia Universidad católica del Perú] <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/19726>
- Ortega –Ante, D. A. (2020). Enfoque de la Biotecnología Industrial en Ecuador y la Provincia de Esmeraldas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, 5(8): 1219-1227.
- Peralta, M. E. (2021). *Desarrollo de nanopartículas magnéticas con aplicaciones en medioambiente y nanomedicina* [Tesis, Universidad Nacional de La Plata]. <https://doi.org/10.35537/10915/112814>
- Pimentel, J. F. M. (2021). Importancia de la biotecnología enzimática en la industria de alimentos. *Journal Boliviano de Ciencias*, 17(Especial): 105-106.
- Quilis Romero, C. (2019). *Zeolitas deslaminadas como soporte de enzimas para la hidrólisis de proteínas* [Tesis de Maestría, Instituto de Tecnología Química]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/130032>
- Rangel Ortiz, J. I. (2019). *Soportes nanoestructurados de PVA funcionalizados con un organocatalizador base pirrolilquinona-tetrazol* [Tesis de Maestría Universidad Michoacana de san Nicolas de Hidalgo]. Repositorio

Institucional- Universidad Michoacana de San Nicolas.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/2308

Rodríguez Llegado, A. A. (2019). Inmovilización enzimática de papaína en soporte esferular de quitosano y determinación comparativa de su actividad enzimática sobre la caseína [Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional Mayor de San Marcos].

<https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/10824>

Ruiz, C., Vera, M., L. Rivas, B., Sánchez, S., & F. Urbano, B. (2020). Magnetic methacrylated gelatin- g -polyelectrolyte for methylene blue sorption. *RSC Advances*, 10(71): 43799-43810. <https://doi.org/10.1039/D0RA08188D>

Salazar Carranza, L. A., Hinojoza Guerrero, M. M., Acosta Gaibor, M. P., Escobar Torres, A. F., Scrich Vázquez, A. J., Salazar Carranza, L. A., Hinojoza Guerrero, M. M., Acosta Gaibor, M. P., Escobar Torres, A. F., & Scrich Vázquez, A. J. (2020). Caracterización, clasificación y usos de las enzimas lipasas en la producción industrial. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 39(4): e620
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0864-03002020000400017&lng=es&nrm=iso&tlng=es

Sánchez-Ramírez, J., Martínez-Hernández, J. L., Segura-Ceniceros, E. P., Contreras-Esquivel, J. C., Medina-Morales, M. A., Aguilar, C. N., & Iliná, A. (2014). Inmovilización de enzimas lignocelulolíticas en nanopartículas

magnéticas. *Química Nova*, 37: 504-512. <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20140085>

Valenzuela-Jaramillo, I.-E., Mendoza-Meza, D., Valenzuela-Jaramillo, I.-E., & Mendoza-Meza, D. (2022). Lipasa de semillas de *Pachira speciosa* inmovilizadas en esferas de quitosano: Un sistema bio-catalítico reusable. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 20(1): 179-193. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v20.n1.2022.1890>

Vergara-Duque, D., Cifuentes-Yepes, L., Hincapie-Riaño, T., Clavijo-Acosta, F., Juez-Castillo, G., & Valencia-Vidal, B. (2020). Effect of Silver Nanoparticles on the Morphology of *Toxoplasma gondii* and *Salmonella braenderup*. *Journal of Nanotechnology*, 2020: 1-11. e9483428. <https://doi.org/10.1155/2020/9483428>

Efecto Magnetocalórico, qué es y cuáles son los materiales EMC

Magnetocaloric effect, what is it and what are the EMC materials?

María Guadalupe Fuentes Zamarrón^{1*}, Jesús Emilio Camporredondo Saucedo¹, Eduardo Macías Avila², Laura G. Castruita Avila³

¹ Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Químicas
Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés
Saltillo, Coahuila, México C.P. 25280

² Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial
Alianza Sur No. 203. Autopista al Aeropuerto km 10
Apodaca, Nuevo León, México C.P. 66629

³ Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, U. A. de Coahuila
Barranquilla S/N Monclova, Coahuila, México C.P. 25750

*m-fuentes@uadec.edu.mx, <https://orcid.org/0000-0001-5045-1481>

Resumen

El efecto magnetocalórico (EMC) que presentan algunos materiales ha hecho posible el desarrollo en prototipos de una tecnología alternativa de refrigeración, la cual permitirá en un futuro reemplazar el funcionamiento de los dispositivos refrigerantes. Las unidades de refrigeración actuales utilizan gases que contribuyen al deterioro ambiental, aún cuando algunos de estos gases han sido sustituidos por otros que no contribuyen al efecto invernadero. Varios materiales EMC en desarrollo, han sido evaluados con resultados promisorios; el presente artículo pretende explicar el comportamiento EMC, el concepto de refrigeración magnética, así como los materiales o familias que poseen dicha característica. Se incluyen las aplicaciones previstas, así como las ventajas y desventajas del uso de la técnica de refrigeración magnética.

Palabras clave: Magnetización, Refrigeración magnética, Efecto magnetocalórico, Materiales EMC

Abstract

The magnetocaloric effect (MCE) presented by some materials has made possible the development in prototypes of an alternative refrigeration technique, which in the future will replace the operation of refrigeration devices. Current refrigeration units use gases that contribute to environmental deterioration, even though some of these gases have been replaced by others that do not contribute to the greenhouse effect. Several EMC materials under study have been evaluated with promising results; this article aims to explain the EMC behavior, the concept of magnetic refrigeration and materials or families that possess this feature. Intended applications are included, as well as the advantages and disadvantages of using the magnetic refrigeration technique.

Keywords: Magnetization, Magnetic refrigeration, Magnetocaloric effect, EMC materials.

1. Introducción

A nivel mundial la mayoría de los hogares dispone al menos de una unidad de refrigeración para guardar y/o conservar los alimentos habituales según la región. La refrigeración tiene variadas aplicaciones, como es en farmacias, hospitales, restaurantes, vehículos automotores, climas industriales o residenciales, etc., es decir, en cualquier lugar que sea necesario mantener sustancias perecederas tales como vacunas, medicamentos, materias primas o similares o bien mantener una temperatura en condiciones controladas (Belman-Flores y col., 2015).

Los dispositivos actuales de refrigeración al igual que otros aparatos facilitan la vida diaria, pero también tienen efectos adversos que normalmente no se mencionan. Estos dispositivos utilizan para su función un refrigerante gaseoso, dos de los cuales en mayor proporción son el R134a (Hidrofluorocarbono o HFC) o bien el R600a (Isobutano). El primero es un contaminante debido a su potencial de calentamiento atmosférico y su larga permanencia en la atmósfera, lo cual contribuye al efecto invernadero. Adicionalmente distintos aparatos e instalaciones que utilizan gases fluorados pueden emitir dichos gases ya sea durante su fabricación, funcionamiento, montaje o primera carga y al final de su vida útil. El segundo es un gas inflamable que ha sido mantenido en control debido a que se usa en pequeñas cantidades en cada artículo refrigerante y no conlleva residuos tóxicos.

Existe una alternativa potencialmente viable para sustituir los gases referidos, eliminando así las consecuencias para el medio ambiente. Esta metodología denominada refrigeración magnética pretende no solo sustituir los refrigerantes actuales sino eliminar los compresores ruidosos y por ende reducir el tamaño de las unidades. El dispositivo propuesto se basa en la física de un fenómeno conocido como efecto magnetocalórico (EMC), (Yu y col., 2010).

El EMC se basa en el calor asociado a algunos cambios que manifiestan determinadas sustancias al someterse a la acción de un campo magnético.

Normalmente se emplean sólidos magnéticos, los cuales en vez de ciclos de compresión-expansión del gas, trabajan con base a los ciclos de imanación-desimanación del material EMC, la refrigeración magnética para utilizarse en modo continuo con materiales de EMC ha sido introducida por Heer y col. (1954). La figura 1 ilustra la diferencia principal entre la refrigeración convencional y la refrigeración magnética.

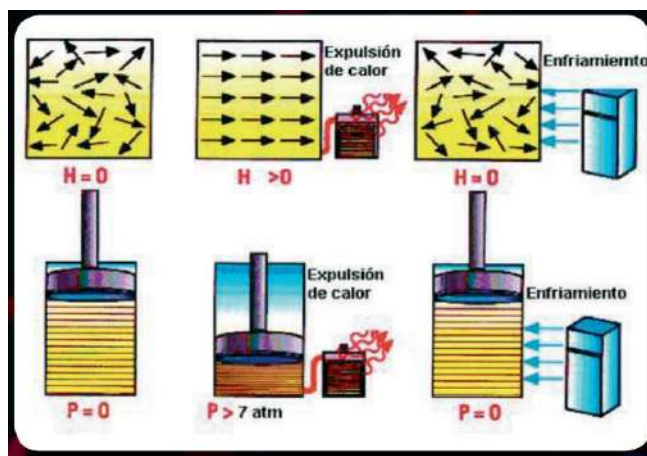


Figura 1. Imagen que ilustra la comparación entre la refrigeración tradicional y la refrigeración magnética. Imagen tomada del folleto "Refrigeración Magnética" emitido por el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón.

2. Magnetización de los materiales.

La magnetización (M) es una magnitud física que cuantifica el momento magnético por unidad de masa de cualquier material cuando le aplicamos un campo magnético externo. En el Sistema internacional (SI), la unidad de medición se denomina Tesla (T). La magnitud que mide la fortaleza del comportamiento de un material al aplicarle un campo magnético externo es la relación que hay entre la magnetización que presenta y el campo aplicado, que se denomina susceptibilidad magnética (χ). Al aplicar un campo magnético externo, los materiales tienen diferentes comportamientos y, por tanto, se clasifican en 5 grupos de acuerdo con su

respuesta en: diamagnéticos, paramagnéticos, ferromagnéticos, antiferromagnéticos y ferrimagnéticos.

2.1. Diamagnetismo

Propiedad de algunos materiales, la cual consiste en una magnetización débil en sentido opuesto a la aplicación de un campo magnético. En otras palabras, un material diamagnético es repelido por un imán. Poseen una susceptibilidad magnética pequeña y negativa ($\chi \approx -10^{-5} - 10^{-6}$). En su arreglo atómico, los átomos tienen sus capas de electrones (e^-) llenas y la χ es independiente de la temperatura. El resultado de poseer capas de e^- completas, cuando se aplica un campo magnético induce un cambio en la cinética orbital de los e^- , lo que resulta en un momento magnético opuesto a la dirección del campo. Este efecto es débil, y al retirarse el campo externo, el momento magnético inducido desaparece. Es necesario aclarar que todos los materiales cuentan con un cierto nivel de diamagnetismo. Algunos ejemplos de sustancias diamagnéticas son el cloruro de sodio (NaCl), el óxido de cobre (CuO) y el Bismuto (Bi); ejemplos de materiales diamagnéticos son: agua, bismuto metálico, hidrógeno, helio y los demás gases nobles, cobre, oro, silicio, germanio, grafito, bronce y azufre. Se resalta que algunos de los mencionados no tienen número par de electrones.

2.2. Paramagnetismo

Los materiales paramagnéticos se caracterizan porque son materiales atraídos por imanes, ya que poseen mayor permeabilidad magnética que el vacío, pero no se convierten en materiales permanentemente magnetizados. En dichos materiales se puede hacer referencia al estado magnético de sus átomos que posee uno o más electrones no apareados, por lo tanto, los electrones que no están apareados son atraídos por un campo magnético. La mecánica de estos momentos magnéticos es alinearse paralelamente al campo aplicado y en el mismo sentido que este, por lo que se obtienen valores de χ positivos, pero de orden menor, entre

10^{-5} y 10^{-3} . La orientación es débil, por estar contrarrestada y del mismo orden de magnitud de las fluctuaciones térmicas. El parámetro χ es constante con la aplicación de un campo magnético externo a una temperatura fija, pero varía con la temperatura, teniendo mayores valores a menores temperaturas. Cuando se retira el campo magnético, los momentos de un material paramagnético vuelven a orientarse aleatoriamente. Algunos ejemplos de estos materiales son Al, Pt, Ti, Mn, Mg, W, V y aire.

2.3 Ferromagnetismo

Fenómeno físico en el que se produce un ordenamiento magnético de todos los momentos magnéticos de un material, en la misma dirección y en el mismo sentido. Es el ordenamiento en donde todos los momentos magnéticos están orientados entre sí a nivel atómico según en una misma dirección. Los valores de la susceptibilidad magnética (χ) varían en el rango de 1.0 y 10^3 o superior y la curva de magnetización (M) respecto al campo magnético es no lineal. Al retirar el campo magnético, el material queda con cierta magnetización remanente (M_r), sin embargo, este fenómeno es dependiente de la temperatura, ya que, a determinada temperatura, conocida como temperatura de Curie (T_c), el material cambia de comportamiento ferromagnético a paramagnético (FM-PM). Ejemplos típicos de materiales son el Fe, Co y Ni, además de estos podemos mencionar al Gadolinio, Disproseo, Permalloy, Awaruita y Wairakita.

Estos materiales a su vez se clasifican dependiendo de la coercitividad que poseen, es decir, de la intensidad del campo magnético necesario para sean desmagnetizados, pueden ser blandos o duros. Los materiales ferromagnéticos blandos: se magnetizan y desmagnetizan con suma facilidad y tienen la capacidad de aumentar la inducción magnética. Estos materiales se emplean en la construcción de máquinas eléctricas, así como en generadores y motores. Los materiales ferromagnéticos duros: tienen la particularidad de que una vez

magnetizados se convierten en imanes permanentes, disponen de una elevada coercitividad, por lo que normalmente se emplean como imanes permanentes. Estos imanes se utilizan para timbres de teléfonos y altavoces.

2.4 Antiferromagnetismo

Son materiales que presentan un estado natural en el cual los momentos magnéticos de átomos adyacentes son opuestos, de manera que el momento magnético neto es nulo. Consiste en el ordenamiento de todos los momentos magnéticos atómicos antiparalelamente a nivel microscópico. Este ordenamiento forma en el caso más simple dos “subredes” orientadas en sentido antiparalelo, en donde ambas están compensadas en magnitud. Dicho ordenamiento es dependiente de la temperatura en relación inversa, pues se va debilitando en la medida que ésta aumenta y a cierto valor, denominado temperatura de Néel (T_N , temperatura en la que el material comienza a desaparecer el efecto de las propiedades características del antiferromagnetismo), el material experimenta una transición magnética pasando al estado paramagnético. A temperatura constante, presentan valores de χ similares a los paramagnéticos, no obstante, al variar su temperatura, χ presenta un valor máximo a $T = T_N$ (Kotnala y Shah, 2015). En los materiales antiferromagnéticos, al retirar el campo ($\mu_0 H = 0$) la magnetización regresa a cero. Algunos ejemplos de materiales son el Fluoruro de manganeso II (MnF_2), Cr, óxido ferroso, fluoruro de níquel y óxido de manganeso.

2.5 Ferrimagnetismo

Fenómeno físico en el que se produce un ordenamiento magnético de los momentos magnéticos del material de tal modo que todos los momentos magnéticos están alineados en la misma dirección, pero no en el mismo sentido. Este comportamiento es similar al de los materiales antiferromagnéticos, a diferencia de que la magnitud de los momentos magnéticos atómicos en sus subredes no está compensada una respecto a la otra. En otras palabras, la

magnetización resultante es distinta de cero. En referencia a la relación de sus valores de χ y la dependencia de M versus $\mu_0 H$, es similar a los de los materiales ferromagnéticos. Al retirarles el campo magnético permanece alguna magnetización remanente. Ejemplos de estos materiales son las ferritas (Kotnala y Shah, 2015).

3. Efecto magnetocalórico (EMC o MCE en inglés).

3.1 Concepto

El efecto magnetocalórico (EMC), en palabras simples, no es más que el cambio en la temperatura de un material que se encuentra en condiciones adiabáticas cuando se aplica o retira un campo magnético externo. Explicado en términos medibles, puede ser cuantificado como el cambio reversible adiabático de temperatura (ΔT_{ad}), o de otra manera como el cambio reversible de la entropía magnética (ΔS_M) si la intensidad del campo varía isotérmicamente. Esto debido a la interacción entre el campo magnético y los grados de libertad magnéticos y de la red (Gshneidner Jr y Pecharsky, 1999). El EMC es el principio básico del método de enfriamiento conocido como desimanación adiabática.

En la Figura 2 se muestra gráficamente un ciclo de refrigeración magnética al usar un material EMC.

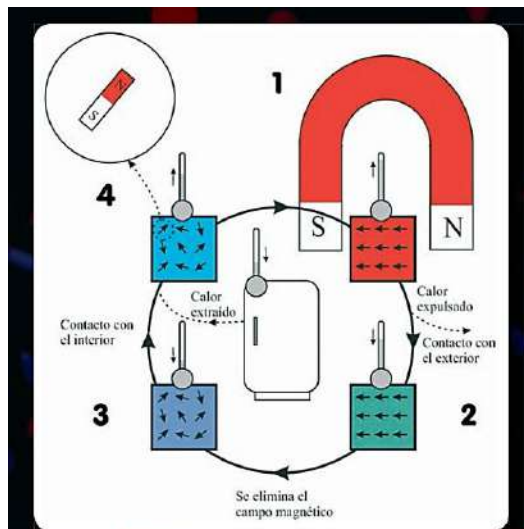


Figura 2. Diagrama esquemático del funcionamiento de un ciclo de refrigeración magnética. Imagen tomada del folleto “Refrigeración Magnética” emitido por el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón.

El efecto magnetocalórico en los materiales magnéticos sólidos produce un calentamiento-enfriamiento (ΔT) al remover un campo magnético, este fenómeno físico es el principio básico del ciclo de la refrigeración magnética regenerativa activa.

Esta propiedad de algunos materiales fue descubierta por el físico alemán Emil Warburg en 1881 al notar que una pieza de hierro se calentaba al colocarla cerca de un imán potente, asimismo fue observado por primera vez por los físicos francés Weiss y suizo Piccard en 1917.

Toda la materia está compuesta por átomos y, algunos materiales se comportan como pequeños imanes, por lo que se deduce que poseen un momento magnético asociado dependiente del número de electrones desapareados. Normalmente éstos se encuentran orientados al azar, lo que se conoce como paramagnetismo, dicho comportamiento cambia cuando se aplica un campo magnético suficiente para vencer la agitación térmica, entonces los momentos se alinean y existe una

transición a otro orden magnético conocido como ferromagnetismo. Esta transición conlleva un aumento del orden interno lo cual está asociado a una variación de energía la cual se manifiesta en forma de calor liberado. En algunos materiales esto se logra incluso sin la presencia de un campo externo por debajo de una temperatura crítica denominada temperatura de Curie (T_c , donde la magnetización se hace igual a cero, es la temperatura por encima de la cual los materiales ferromagnéticos se vuelven paramagnéticos, perdiendo sustancialmente todas sus propiedades magnéticas permanentes).

Giauque y MacDougall (1933), fueron los primeros en demostrar una aplicación práctica del efecto magnetocalórico, mediante la desmagnetización adiabática de una sal paramagnética, el sulfato de gadolinio octahidratado, lograron alcanzar temperaturas de unas dos décimas de Kelvin.

En cierta parte del ciclo de refrigeración, una disminución en la intensidad del campo magnético aplicado externamente permite que los dominios magnéticos de un material magnetocalórico se desorienten por la agitación magnética de las vibraciones cuánticas en las redes cristalinas del material. Cuando existe aislamiento en el material de forma que no permita la entrada de energía desde el exterior durante dicha desorganización, la temperatura desciende como consecuencia de la absorción de calor por dichos dominios. La forma que se encuentran aleatorizados los dominios es similar a la que se da en la temperatura de Curie (T_c) de materiales ferromagnéticos, excepto en que los dipolos magnéticos prevalecen sobre un campo magnético externo de intensidad menor, mientras que la energía total del sistema permanece constante, en vez de darse la disrupción de dominios magnéticos por ferromagnetismo interno conforme se añade más energía (Wohlfarth, 1980).

3.2. Propiedades de los refrigerantes magnéticos.

Para determinar si un material es idóneo como refrigerante magnético, se deben considerarse las propiedades magnéticas y no magnéticas. Junto con la evaluación

de las propiedades específicas de los materiales, es igualmente importante la valoración de las ventajas económicas y medioambientales (costes de los precursores/materiales, costes de fabricación, posibles riesgos para la salud). Influyen también su fácil conformabilidad, poder de enfriamiento, que no sea corrosivo, que sus propiedades no sean dependientes del tiempo, entre otros parámetros importantes que permitan su uso a escala industrial.

3.3.- Eficiencia de la refrigeración

Los métodos de refrigeración convencionales que utilizan refrigeradores de compresión de vapor que resultan ser voluminosos, pesados e ineficientes desde el punto de vista energético. Recientemente, el uso de la desmagnetización adiabática (el llamado efecto magnetocalórico, EMC) para la refrigeración a temperatura ambiente ha demostrado tener una eficacia energética $\approx 30\%$ mayor que las técnicas de refrigeración por compresión de vapor (Gutfleisch y col., 2011), sin los gases refrigerantes perjudiciales para el medio ambiente (Gschneidner y col., 2005).

Los avances en los materiales MCE permitirán que las tecnologías de estado sólido mejoren las capacidades y eficiencias de refrigeración.

Para justificar el cambio tecnológico de la compresión de vapor a la refrigeración magnética, hay que demostrar un rendimiento cada vez mayor de los dispositivos de refrigeración magnética. Por tal razón se prefiere un material con un alto EMC en el refrigerante magnético como requisito previo para poder de ser capaz de proporcionar una gran potencia de refrigeración y una alta eficiencia.

3.4.- Rango de temperatura de funcionamiento

Para superar la limitación de un estrecho margen de temperatura (ΔT_{span}) y la correspondiente menor potencia de refrigeración relativa ($RCP > 2K$), proporcionado por el uso de un único material magnetocalórico, se ha creado una combinación de materiales con diferente T_c en un lecho regenerador (Russek y col., 2010). La

variación de la composición del o los materiales con el objetivo de ajustar T_c debe preferentemente realizarse de forma que permita conservar la gran capacidad de refrigeración (Lyubina, 2017).

3.5.- Histéresis

El concepto de transición de primer orden se presenta cuando el parámetro de orden, por ejemplo, la magnetización en el caso de los materiales magnetocalóricos, cambia discontinuamente con la temperatura (Fujita y col., 1999), mientras que un cambio continuo implica una transición de segundo orden (Dan'kov y col., 1998; Law y col., 2018). Este último es, el caso de una transición magnética pura entre una fase paramagnética y ferromagnética alrededor de la temperatura de Curie (T_c). El material ejemplo ideal es el elemento gadolinio con su T_c cerca de la temperatura ambiente.

Los materiales que presentan transiciones de segundo orden tienen como ventaja, respecto a los de primer orden, con relación al efecto magnetocalórico que no poseen ni histéresis térmica ni magnética considerable, por lo cual, por un lado, es reversible, y, por otro, su capacidad refrigerante no se ve afectada (Zhang y col., 2013).

La histéresis presente en las transiciones de primer orden es perjudicial para el funcionamiento del refrigerador.

4.- Materiales EMC

Los materiales EMC han sido clasificados en 14 familias, algunas de las cuales se describen o mencionan brevemente a continuación:

4.1.- Gadolinio (Gd)

Es el único elemento que tiene una transición de ferro a paramagnético cerca de la temperatura ambiente. La T_c del Gd depende de su homogeneidad y pureza, se sitúa en 294K en un solo cristal (Cable y Wollan, 1968; Dan'kov y col., 1998; Lyubina

y col., 2011). La transición próxima a la temperatura ambiente del Gd es la razón principal de que se le haya considerado como el primer material tipo EMC por Brown en 1976. El Gd se utiliza desde entonces como referencia para valorar el rendimiento de los refrigerantes magnéticos. En virtud de la transición de segundo orden, no se observa ninguna histéresis y el cambio de entropía (ΔS) es moderado. Sin embargo, la capacidad calorífica del Gd es significativamente menor comparada con la de los materiales de varios componentes, en consecuencia, el Gd tiene una ΔT_{ad} (es decir un cambio adiabático, no pierde ni gana calor) considerable. Por su alta ductilidad, el Gd puede ser moldeado en placas y láminas delgadas, no obstante, hay que tener en cuenta que la deformación plástica (severa) puede cambiar la microestructura y reducir el EMC (Taskaev y col., 2013). La formación de soluciones sólidas con otros elementos de tierras raras permite el ajuste de la T_c (Gschneidner y col., 2005). Sin embargo, a pesar de todas las características favorables del Gd, este material no es atractivo para su aplicación idónea, esto es, en sistemas de refrigeración a gran escala ya sea uso doméstico, residencial y/o industrial; principalmente por su elevado costo, ya que el Gd pertenece a las tierras raras pesadas que son significativamente menos abundantes en comparación con, por ejemplo, el Ce, La y Nd.

4.2.- Compuestos de Gadolinio

Como una alternativa factible para reducir el costo es emplear mezclas o compuestos de Gd y otros elementos, que también presentan el efecto magnetocalórico (Gottschall y col., 2019). La evaluación de la criticidad de los compuestos se basa en un modelo que tiene en cuenta la disponibilidad geológica, la situación geopolítica, la reciclabilidad y la sostenibilidad (Glöser y col., 2015).

Los compuestos intermetálicos ternarios $Gd_5(Si_xGe_{1-x})_4$ con $T_c = 295-335K$ y el compuesto $Gd_5Si_2Ge_2$ fueron descubiertos por Holtzberg y col., (1967). Pecharsky y Gschneidner en 1997 encontraron un efecto magnetocalórico gigante (GMCE) en el $Gd_5Si_2Ge_2$. Esta clase de material exhibe una fuerte transición de primer orden

para $\chi \leq 0,5$; el cambio de la transición a segundo orden ocurre abruptamente a un contenido de Si de $\chi > 0,5$ (Pecharsky y Gschneidner, 2001). Lo anterior se debe a una transformación magnetoestructural de monoclinica paramagnética a la fase ferromagnética ortorrómbica.

4.3. Compuestos de Lantano

En 1984, Oesterreicher observó el efecto magnetocalórico en los compuestos de metales de transición de tierras raras, detectó que sus temperaturas de Curie están cerca de la temperatura ambiente y sugirió que es posible que la serie de serie de compuestos $\text{Y}_2\text{Fe}_{17-x}\text{Co}_x$ y $\text{Y}_2\text{Fe}_{17-x}\text{Ni}_x$ sean refrigerantes magnéticos a temperatura ambiente (Oesterreicher y Parker, 1984). Posteriormente, se demostró que algunos otros compuestos de metales de transición de tierras raras, también presentan un enorme cambio de entropía magnética, y sus temperaturas de Curie pueden ser fácilmente ajustadas mediante dopaje iónico. Otra investigación indicó que el ΔT_{ad} máximo en las series de $\text{Ce}_2\text{Fe}_{17-x}\text{Co}_x$ y $\text{Er}_2\text{Fe}_{17-x}\text{Ni}_x$ ($x=0,3-2,0$) son de 4,75 y 4,51 K (en un campo magnético de 2 T), y sus correspondientes valores de temperatura de Curie son 294,2 K y 293,5 K, respectivamente, cercano al Gd metálico, pero mucho menos caros que el Gd (Wang y col., 2000).

4.4. $\text{MnFeSi}_x\text{P}_{1-x}$

Existen varias familias de materiales que muestran EMC razonables en campos magnéticos de 2T, en temperaturas cercanas al ambiente. Por ejemplo, Mn-Fe-P-Si y La (Fe, Mn, Si)₁₃H y pueden competir con Gd en términos de ΔT_{ad} , pero su correspondiente ΔS_T (entropía (S), magnitud termodinámica definida originalmente como criterio para predecir la evolución de los sistemas termodinámicos), es varias veces mayor debido a la naturaleza de primer orden de la transición. Lo anterior significa que son capaces de bombear mucho más calor en un solo ciclo de enfriamiento. En estos compuestos se pueden obtener cambios de temperatura adiabáticos reversibles aún mayores que en el Gd utilizando FeRh o Gd-Si-Ge. Una

de las razones es que ambos materiales muestran un fuerte carácter de primer orden y, por lo tanto, el desplazamiento de la fuerza motriz del efecto magnetocalórico es grande (GMCE). Sin embargo, esto tiene el precio de una histéresis térmica bastante grande (Gottschall y col., 2019).

4.5 Aleaciones tipo Heusler

En 1903 el científico alemán Friedrich Heusler estudió este tipo de aleaciones conformadas por cobre, manganeso y aluminio (Bradley y Rodgers, 1934). Presentan características notables de propiedades magnéticas resultantes de la composición de sus elementos. El ordenamiento de las estructuras cristalinas en las aleaciones puede presentarse en dos formas: (1.) cúbica centrada en las caras y (2.) una combinación de cúbica centrada en las caras y cúbica centrada en el cuerpo (Srivastava y Bhatti, 2012). Las aleaciones tipo Heusler están compuestas por X_2YZ , en donde X y Y son metales de transición y Z elementos del grupo III-V las cuales muestran características de materiales ferromagnéticos.

4.6 Manganitas $R_{1-x}A_xMnO_3$

Las manganitas u óxidos de manganeso, cuya fórmula general es $R_{1-x}A_xMnO_3$, donde R significa los elementos de tierras raras trivalentes tales como el La, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Ho, Tb, Y, etc., y “A” es un ion divalente como, por ejemplo: Ca, Sr, Ba o Pb. Esta familia es conocida por sus propiedades magneto resistivas colosales, y también muestran grandes valores para el cambio de la entropía magnética máxima (ΔSM_{max}), en comparación con otros óxidos de metales de transición (Koubaa y col., 2011; Gandara, 2015). Ciertos óxidos de perovskita de manganeso exhiben una variación discontinua en el volumen de la red y un cambio brusco en la magnetización en la transición ferromagnética.

Estudios recientes han sido enfocados en determinar si existe un efecto GMCE en ciertos materiales tales como compuestos $MnAs_{1-x}P_x$ (Aliev y col, 2021).

5.0.- Aplicaciones, Ventajas y Desventajas

El uso de refrigeración magnética es viable en los siguientes dispositivos o componentes:

- Refrigerador al vacío o Licuadora de hidrógeno
- Dispositivos de enfriamiento para computadoras de alta velocidad
- Sistemas de aire acondicionados tipo residencial e industrial
- Sistemas de aire acondicionado para vehículos
- Unidades de Refrigeración doméstico, empresarial e industriales

Las ventajas más relevantes de usar refrigeración magnética son:

- Reducido riesgo de contaminación ambiental
- Alta eficiencia comparado con el ciclo convencional usado actualmente
- Incremento considerable en la vida útil del dispositivo
- Dispositivos reducidos en tamaño y por ende en peso
- Enfriar y congelar diversas sustancias (agua, aire, productos químicos) con procesos más ágiles.

Es necesario mencionar que este tipo de refrigeración tiene ciertas desventajas como son:

- Necesidad de incluir un blindaje de la fuente magnética
- El alto costo y la baja disponibilidad de materiales con efecto magnetocalórico
- Reducido rango de temperaturas para los ciclos de enfriamiento

La fabricación prototipos o dispositivo para proporcionar refrigeración magnética son una realidad a baja escala, ejemplo de ellos es el denominado “enfriador de vino magnético”, el cuál es un claro ejemplo de la aplicación de materiales EMC (Nakashima y col., 2021).

6.0. Conclusiones

Aunque el EMC presente en varios materiales es un fenómeno físico viable y muy prometedor para uso en la técnica de refrigeración magnética, aún no ha sido posible disponer de un material que cumpla todos los requisitos indispensables para su aplicación a escala industrial.

Los avances son bastante apreciables, pero hasta el momento solo han sido construidos prototipos con resultados relevantes. Es por tanto necesario continuar las investigaciones acerca de materiales EMC ya sea variando sus composiciones, explorando nuevas técnicas de síntesis o de procesamiento para su obtención y/o procesos tecnológicos de manufactura que potencializan el efecto MC.

“Para futuros estudios, deben calcularse las figuras de mérito dependientes del ciclo, ya que las figuras de mérito relevantes para los refrigerantes (W_{ref} , I , η) no pueden separarse del ciclo considerado. Esto abre la posibilidad de optimizar el rendimiento de refrigeración para un material GMCE eligiendo cuidadosamente el ciclo $T-H$ ” (Brown, 2020).

Referencias bibliográficas

- Aliev, A. M., Khanov, L. N., Gamzatov, A. G., Batdalov, A. B., Kurbanova, D. R., Yanushkevich, K. I., & Govor, G. A. (2021). Giant magnetocaloric effect in $MnAs_{1-x}Px$ in a cyclic magnetic field: Lattice and magnetic contributions and degradation of the effect. *Applied Physics Letters*, 118(7): 072404.
- Aprea, C., Greco, A., Maiorino, A., & Masselli, C. (2015, October). Magnetic refrigeration: an eco-friendly technology for the refrigeration at room temperature. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 655, No. 1: 012026). IOP Publishing.
- Belman-Flores, J. M., Barroso-Maldonado, J. M., Rodríguez-Muñoz, A. P., & Camacho-Vázquez, G. (2015). Enhancements in domestic refrigeration, approaching a sustainable refrigerator—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51: 955-968.
- Benke, D., Fries, M., Specht, M., Wortmann, J., Pabst, M., Gottschall, T., ... & Gutfleisch, O. (2020). Magnetic refrigeration with recycled permanent magnets and free rare-earth magnetocaloric La-Fe-Si. *Energy Technology*, 8(7): 1901025.

- Bhobe, P. A., Priolkar, K. R., & Nigam, A. K. (2007). Room temperature magnetocaloric effect in Ni–Mn–In *Applied Physics Letters*, 91(24): 242503.
- Bolaji, B. O., & Huan, Z. (2013). Ozone depletion and global warming: Case for the use of natural refrigerant a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 18: 49-54.
- Bradley A. J. and Rodgers J. W., "The Crystal Structure of the Heusler Alloys," Proceedings of the Royal Society of London. *A Mathematical. Physical. Engineering Sciences*, vol. 144, no. 852: 340–359, 1934.
- Brown, T. D., Chen, J. H., Braham, E. J., Stadler, S., & Shamberger, P. J. (2020). Dynamic re-equilibration controlled multi-step transformations in (Mn, Fe) 2 (P, Si) alloys. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 53(20): 205303.
- Brown, G. V. (1976). Magnetic heat pumping near room temperature. *Journal of Applied Physics*, 47(8): 3673-3680.
- Brück, E., Tegus, O., Thanh, D. C., & Buschow, K. H. J. (2007). Magnetocaloric refrigeration near room temperature. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 310(2): 2793-2799.
- Cable, J. W., & Wollan, E. O. (1968). Neutron diffraction study of the magnetic behavior of gadolinium. *Physical Review*, 165(2): 733.
- Dan’Kov, S. Y., Tishin, A. M., Pecharsky, V. K., & Gschneidner, K. A. (1998). Magnetic phase transitions and the magnetothermal properties of gadolinium. *Physical Review B*, 57(6): 3478.
- Debye, P. (1926). Einige bemerkungen zur magnetisierung bei tiefer temperatur. *Annalen der Physik*, 386(25) :1154-1160.
- E Habiba, U., Khattak, K. S., Ali, S., & Khan, Z. H. (2020). MnAs and MnFeP1– xAsx-based magnetic refrigerants: a review. *Materials Research Express*, 7(4), 046106.
- Foner, S., 1956. Vibrating sample magnetometer. *Review of Scientific Instruments*, 27(7): 548-548.
- Franco, V., Blázquez, J. S., Ipus, J. J., Law, J. Y., Moreno-Ramírez, L. M., & Conde, A. (2018). Magnetocaloric effect: From materials research to refrigeration devices. *Progress in Materials Science*, 93: 112-232.
- Franco, V., Blázquez, J. S., Ingale, B., & Conde, A. (2012). The magnetocaloric effect and magnetic refrigeration near room temperature: materials and models. *Annual Review of Materials Research*, 42: 305-342.
- Fujita, A., Akamatsu, Y., & Fukamichi, K. (1999). Itinerant electron metamagnetic transition in La (Fe x Si 1– x) 13 intermetallic compounds. *Journal of Applied Physics*, 85(8): 4756-4758.
- Gandara, L. A. B. (2015). Propiedades magnetocalóricas y transiciones de fase en manganitas y aleaciones de SmCoFe. *Centro de Investigación en Materiales Avanzados*.

- Giauque, W. F. and MacDougall, D. P Attainment of temperatures below 1° Absolute by demagnetization of $\text{Gd}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, *Physical Review*, 43 (1933): 768.
- Giauque, W. F. (1927). A thermodynamic treatment of certain magnetic effect. A proposed method of producing temperatures considerably below 1° absolute, *Journal of the American Chemical Society*, 49(8): 1864-1870.
- Glöser, S., Espinoza, L. T., Gandenberger, C., Faulstich, M. *Resource Policy* 2015, 44: 35.
- Goetzler, W., Goffri, S., Jasinski, S., Legett, R., Lisle, H., Marantan, A. & Zogg, R. (2009). Energy savings potential and R&D opportunities for commercial refrigeration. *US Department of Energy, Energy Efficiency and Renewable Energy Building Technologies Program*, 23.
- Gottschall, T., Kuz'Min, M. D., Skokov, K. P., Skourski, Y., Fries, M., Gutfleisch, O., & Wosnitza, J. (2019). Magnetocaloric effect of gadolinium in high magnetic fields. *Physical Review B*, 99(13): 134429.
- Gottschall, T., Skokov, K. P., Fries, M., Taubel, A., Radulov, I., Scheibel, F., Benke, D., Riegg, S., Gutfleisch, O. (2019). Making a Cool Choice: The Materials Library of Magnetic Refrigeration. *Advanced Energy Materials*, 9(34), 1901322.
- Gschneidner, K. A., Pecharsky, V. K., & Tsokol, A. O. (2005). Recent developments in magnetocaloric materials. *Reports on progress in physics*, 68(6): 1479.
- Gshneidner Jr, K. A., & Pecharsky, V. K. (1999). Magnetic refrigeration material. *Journal of Applied Physics*, 85: 5365-5368.
- Gutfleisch, Oliver & Willard; Matthew & Brück, E. & Chen; Christina & Sankar; Sury & Liu, J.P. (2011). Magnetic materials and devices for the 21st century: Stronger, lighter, and more energy efficient. *Advanced Materials*, 23(7): 821-842.
- Heer, C. V., Barnes, C. B., & Daunt, J. G. (1954). The design and operation of a magnetic refrigerator for maintaining temperatures below 1 K. *Review of Scientific Instruments*, 25(11): 1088-1098.
- Holtzberg, F., Gambino, R. J., & McGuire, T. R. (1967). New ferromagnetic 5: 4 compounds in the rare earth silicon and germanium systems. *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, 28(11): 2283-2289.
- Ibarra, P. J., Sánchez, C. F., Sánchez, J. L., Álvarez, P., Gorria, P., & Blanco, J. A. (2013). Texture-induced enhancement of the magnetocaloric response in melt-spun DyNi_2 ribbons. *Applied Physics Letters*, 103(15), 152401
- Law, J. Y., Franco, V., Moreno-Ramírez, L. M., Conde, A., Karpenkov, D. Y., Radulov, I., ... & Gutfleisch, O. (2018). A quantitative criterion for determining the order of magnetic phase transitions using the magnetocaloric effect. *Nature communications*, 9(1): 2680.
- Kotnala, R. K., & Shah, J. (2015). Ferrite materials: nano to spintronics regime. *Handbook of magnetic materials* (Vol. 23: 291-379). Elsevier.

Koubaa M., Regaieg Y., Chei Khrouhou W., 2011. Magnetic and magnetocaloric properties of Lanthanum manganites with monovalent elements doping at A-site. *Journal of magnetism and magnetic materials*, 323(2): 252-257.

Lai, J. W., Zheng, Z. G., Huang, B. W., Yu, H. Y., Qiu, Z. G., Mao, Y. L., ... & Brück, E. (2018). Microstructure formation and magnetocaloric effect of the Fe₂P-type phase in (Mn, Fe) 2 (P, Si, B) alloys. *Journal of Alloys and Compounds*, 735: 2567-2573.

Li, L., Nishimura, K., & Yamane, H. (2009). Giant reversible magnetocaloric effect in antiferromagnetic GdCo₂B₂ compound. *Applied Physical Letters*, 94(10), 102509.

Luo, Q., Zhao, D. Q., Pan, M. X., & Wang, W. H. (2006). Magnetocaloric effect in Gd-based bulk metallic glasses. *Applied Physical Letters*, 89(8), 081914.

Lubell, M. S., & Venturino, A. S. (1960). Vibrating sample magnetometer. *Review of Scientific Instruments*, 31(2): 207-208.

Lyubina, J. (2017). Magnetocaloric materials for energy efficient cooling. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(5), 053002.

Lyubina, J., Kuz'min, M. D., Nenkov, K., Gutfleisch, O., Richter, M., Schlagel, D. L., ... & Gschneidner Jr, K. A. (2011). Magnetic field dependence of the maximum magnetic entropy change. *Physical Review B*, 83(1), 012403.

Nakashima, A. T., Fortkamp, F. P., de Sá, N. M., dos Santos, V. M., Hoffmann, G., Peixer, G. F., & Barbosa Jr, J. R. (2021). A magnetic wine cooler prototype. *International Journal of Refrigeration*, 122: 110-121.

Osterreicher H., Parker FT. (1984). Magnetic cooling near Curie temperature above 300K. *Journal of Applied Physics*, 55: 4334-8

Pecharsky, V. K., & Gschneidner Jr, K. A. (2001). Some common misconceptions concerning magnetic refrigerant materials. *Journal of Applied Physics*, 90(9): 4614-4622.

Pecharsky, V. K., Gshneidner Jr., K. A. (1997). Giant magnetocaloric effect in Gd₅(Si₂Ge₂), *Physical review letters*, 78 (23): 4494-4497.

Russek, S., Auringer, J., Boeder, A., Chell, J., Jacobs, S., & Zimm, C. (2010, August). Proceed. 4th Intern. In Conf. on Magnetic Refrigeration at Room Temp., Baotou, Inner Mongolia, China.

Srivastava V., and Bhatti, K. P. (2012). Ferromagnetic Shape Memory Heusler Alloys. *In Solid State Phenomena* Vol. 189: 189-208. Trans Tech Publications Ltd.

Taskaev, S. V., Buchelnikov, V. D., Pellenen, A. P., Kuz'min, M. D., Skokov, K. P., Karpenkov, D. Y., ... & Gutfleisch, O. (2013). Influence of thermal treatment on magnetocaloric properties of Gd cold rolled ribbons. *Journal of Applied Physics*, 113(17): 17A933.

Tegus, O., Brück, E., Buschow, K. H. J., Boer, F. R. (2002). Transition-metal based magnetic refrigerants for room-temperature applications. *Nature* 415(6868): 150-152.

Wang, Y., Zhang, H., Long, K., Xing, C., Xiao, Y., Su L., & Long, Y. (2018). Rotating magnetocaloric effect in textured polycrystalline Tb_3NiGe_2 compound with successive magnetic transitions. *Intermetallics*, 100: 175-180.

Wang BZ., Cao XM., Wen, M. (2000). The researching for property of cooling by magnetic cycling about Re_2Fe_{17} type rare earth metal compounds. *Journal of Hebei University of Technology*, 29(5): 87–91.

Weiss, Pierre., Piccard, Auguste. (1917). Le phénomène magnétocalorique. *Journal of Physics Theory Applied*, 7(1): 103-109.

Wohlfarth, E P. (1980). *Handbook of Magnetic Materials* vol 1, ed: 47. North-Holland.

Wu, M., Zhang, H., Long, K., Tao, K., Wang, Y., Xing, C., & Long, Y. (2017). Magnetocaloric effect in textured polycrystalline Ho_2GdAl_2 . *Materials Letters*, 205: 40-43.

You, X., Maschek, M., van Dijk, N. H. H., & Brück, E. (2021). Magnetic Phase Diagram of the $Mn_xFe_{2-x}P_{1-y}Si_y$ System. *Entropy*, 24(1): 2.

Yu, B., Liu, M., Egolf, P. W., & Kitanovski, A. (2010). A review of magnetic refrigerator and heat pump prototypes built before the year 2010. *International Journal of Refrigeration*, 33(6): 1029-1060.

Zhang, Y., Wu, J., He, J., Wang, K., & Yu, G. (2021). Solutions to obstacles in the commercialization of room-temperature magnetic refrigeration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 143: 110933.

Zhang, H., Sun, Y. J., Niu, E., Yang, L. H., Shen, J., Hu, F. X., and Shen, B. G. (2013). Large magnetocaloric effects of $RFeSi$ ($R = Tb$ and Dy) compounds for magnetic refrigeration in nitrogen and natural gas liquefaction. *Applied Physics Letters*, 103(20): 202412.

Zhong, W., Au, C. T., & Du, Y. W. (2013). Review of magnetocaloric effect in perovskite-type oxides. *Chinese Physics B*, 22(5): 057501.

Yu, B. F., Gao, Q., Zhang, B., Meng, X. Z., & Chen, Z. (2003). Review on research of room temperature magnetic refrigeration. *International Journal of Refrigeration*, 26(6): 622-636.

Zimm, C., Jastrab, A., Sternberg, A., Pecharsky, V., Gschneidner, K., Osborne, M., & Anderson, I. (1998). Description and Performance of a Near-Room Temperature Magnetic Refrigerator. In: Kittel, P. (eds) *Advances in Cryogenic Engineering*. Advances in Cryogenic Engineering, vol 43. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-9047-4_222

Asociación de la infección por COVID-19 en médicos internos de pregrado de una facultad de medicina del norte de México

Association of COVID-19 infection in undergraduate medical interns of a medical school in northern Mexico

Rubén Daniel Arellano-Pérez Vertti, Faviel Francisco González-Galarza, Jorge Haro-Santa Cruz, Daniel Orlando Arellano-Ramírez, Diego Fernando Arellano-Ramírez, Rafael Argüello-Astorga

^a Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Medicina Torreón, avenida Morelos 900 oriente, colonia centro, cp. 27000, Torreón Coahuila, México

Autor de correspondencia: Rubén Daniel Arellano-Pérez Vertti. Universidad Autónoma de Coahuila. Correo electrónico: arellanodaniel1969@gmail.com.
ORCID: 0000-0001-9283-6259

Teléfono: (52) 871 713 67 83 y 871 2 25 18 90

Abstract

Undergraduate medical interns are a risk group exposed to COVID-19. Adequate preventive measures must be guaranteed to minimize the risk of infection and disease spread.

This retrospective study included 173 medical students in clinical scenario training. The RT-PCR test for SARS-CoV-2 was performed for symptomatic and asymptomatic participants. The information was registered in a structured questionnaire. To estimate the association of COVID-19 and identify exposure characteristics related to infection in undergraduate medical interns.

The risk of COVID-19 infection was significantly higher in undergraduate medical interns (63.0%, $p = 0.003$). The highest risk of infection after exposure to patients and colleagues confirmed to COVID-19 occurred in the undergraduate medical intern study group (67.1%, $p = 0.002$ and 69.8%, $p = 0.003$, respectively).

We found a high frequency of COVID-19 among undergraduate interns despite protective measures.

Key words: Undergraduate Medical Interns, Covid-19, infection

Resumen

Los médicos internos de pregrado están expuestos al COVID-19. Se deben garantizar medidas adecuadas para minimizar el riesgo de infección y propagación de la enfermedad.

Se incluyen 173 médicos en etapa formativa clínica. La información se recogió en un cuestionario estructurado. La prueba RT-PCR SARS-CoV-2 se realizó para participantes sintomáticos y asintomáticos a COVID-19. Los objetivos del presente estudio fueron asociar la presencia de COVID-19, e identificar características de exposición relacionadas con la infección en médicos internos de pregrado. El riesgo de infección por COVID-19 fue mayor en los médicos internos de pregrado (63.0%,

$p = 0.003$). El mayor riesgo de infección después de la exposición a pacientes y colegas confirmados a COVID-19, ocurrió en el grupo de estudio de médicos internos de pregrado (67.1%, $p = 0.002$ y 69.8%, $p = 0.003$, respectivamente).

Encontramos alta frecuencia de COVID-19 entre los médicos internos de pregrado.

Palabras clave: Médicos internos, infección, COVID-19

Introduction

There is still significant uncertainty about the epidemiological, clinical, and virological characteristics of the Coronavirus disease (COVID-19). The first disease cases reported in the province of Wuhan, in China, were described as atypical pneumonia in December 2019 (Li y col., 2020).

The transmission is mainly through the airway and less frequently through contact with contaminated surfaces (Lewis, 2021). The main factors for the spread of the disease are non-compliance with sanitary measures (proper hand washing, social distancing, crowding people in hospital settings, and contact with body fluids and contaminated surfaces). For this reason, health workers are a potential infection risk group (Chan y col., 2020).

Healthcare workers play a critical role in patients' care and clinical management and are exposed to confirmed cases and subclinical or undiagnosed COVID-19 individuals. Therefore, adequate preventive measures must be guaranteed to minimize the risk of infection, outbreaks in the hospital, and the spread of the disease (Wu & McGoogan, 2020).

Li y col., reported a considerable percentage (86.2%) of non-symptomatic carriers of COVID-19 in Chinese population; however, 86% of the patients diagnosed with COVID-19 were infected from contact with non-symptomatic carriers; in this way, medical students may become asymptomatic carriers and spread the disease to family and friends, thus aggravating the pandemic. (Li y col., 2020). Additionally, many patients undiagnosed for SARS-CoV-2, with associated comorbidities, usually

go to the emergency department for symptoms other than respiratory symptoms, increasing the risk of infection. (Huang y col., 2020; Zhou y col., 2020).

Infection rates in healthcare personnel have also been reported for other infectious diseases.

Middle East Acute Respiratory Syndrome due to coronavirus (MERS), Ebola, and severe acute respiratory syndrome (SARS), have been previously reported to range from 1% to 27%, 2.5% to 12%, and 11% to 57% of all cases, respectively. (Suwantararat & Apisarnthanarak, 2015).

In 2003, when the SARS outbreak in Hong Kong occurred, infection in medical students was reported. (Belingheri, Paladino, & Riva, 2020; Lee y col., 2003).

Xiaoquan Lai y col., reported that non-first-line health workers had a high risk of infection during the initial stage of COVID-19 disease. Interestingly, 70 (63.6%), 7 (6.4%), and 14 (12.7%) out of 110 health workers with Covid-19 were possibly infected in general clinics or hospitalization rooms, fever care clinics, and at the community level, respectively. Thus, the authors proposed to evaluate interventions aimed at these vulnerable groups (Lai y col., 2020).

Recently, Yamamoto y col., described an increased frequency of COVID-19 among health workers in Tijuana city, Mexico. The results of that study showed that being an intern had a protective factor (unadjusted Prevalence Odds Ratios = 0.345, 95% CI 0.099, 1.179 and 0.253 95% CI 0.085, 0.758) (Yamamoto-Moreno, Pineda-Aguilar, Ruiz-Pérez, Gortarez-Quintana, & Ruiz-Dorado, 2020).

Due to the COVID-19 outbreak, authorities have recommended different sanitary policies to increase protective measures for medical students in clinical rotations and to avoid contact with potentially contagious patients of COVID-19.

Medical schools have recommended avoiding any interaction of medical students on hospital rotations with confirmed Covid-19, as this increases the likelihood of developing acute respiratory distress syndrome (SDRA) (Wu y col., 2020).

In this way, on March 17, 2020, the Association of American Medical Colleges provided guidelines and instructed that medical students were not involved in caring

for patients with suspected or confirmed COVID-19 and suspended clinical rotations for medical students (Menon, Klein, Kollars, & Kleinhenz, 2020).

In Mexico, the Dirección General de Calidad y Educación en Salud (DGCES) instructed to increase the protection measures for undergraduate medical and community social service interns. Unfortunately, despite the health measures implemented, the COVID-19 pandemic has caused severe effects in Mexico. The increase in the number of cases has also extended to health workers. As of October 11th, 2021, more than 280,000 cumulative suspected cases of COVID-19 and 4,484 confirmed deaths were reported on healthcare workers. (Esquivel-Chirino y col., 2021).

Due to those mentioned above, the objectives of this study were to estimate the frequency of COVID-19 and identify clinical, sociodemographic, and exposure characteristics associated to the risk of contagion in undergraduate medical interns.

MATERIALS AND METHODS

This retrospective observational study included 173 participants in clinical scenario training, both in public and private healthcare centers, grouped as follows: undergraduate medical interns (sixth year clinical), community social service undergraduate students (seventh year), and medical specialty residents of the Faculty of Medicine of the Autonomous University of Coahuila, Mexico.

All the information included in this study was obtained from reports after an event of potential risk of contagion by COVID-19 from March 17, 2020, to April 30, 2021; this report was a structured questionnaire with information regarding category, demographic data, clinical symptoms, hospital and community scenarios, including contact with a confirmed COVID-19 case (within the past two weeks).

Additionally, several comorbidities, such as diabetes, high blood pressure, obesity, pulmonary disease, and smoking, were included. The Real Time Polymerase Chain Reaction for SARS CoV-2 (RT-PCR SARS-CoV-2 test) for symptomatic or

asymptomatic participants exposed to environments, patients, colleagues, and family confirmed COVID-19 infection was performed.

All participants symptomatic or asymptomatic for whom COVID-19 was confirmed positive were classified as cases; otherwise, were considered as having no COVID-19 disease.

The RT-PCR test for SARS-CoV-2 was carried out in different public and private health institutions, following the indications of the World Health Organization (WHO), and endorsed by the corresponding local health authority. Trained personnel obtained samples using nasopharyngeal and oropharyngeal swabs with the standard technique already described. The swabs were immediately placed in a transport medium, in a portable refrigerator, and delivered to the corresponding laboratory. The tests used were Kits Superscript III platinum one-step quantitative rt-PCR system; Kit QuantiFast Probe RT-PCR (Qiagen) (Control & Prevention, 2020a; RT-PCR, 2020; Sung y col., 2020).

To evaluate the influence of the medical rotation services on the risk of infection, we grouped them as described below: clinical services (internal medicine, pediatrics, and community medicine) and surgical services (surgery, obstetrics and gynecology, emergencies, and anesthesiology).

This study was approved by the bioethics committee of the Torreón School of Medicine with reference number: C.B / 02-08-20 by January 25th, 2021, and carried out following article 17 of the general health law on research matters to health in Mexico, Declaration of Helsinki. All participants gave informed consent, and all data was secured and confidential.

STATISTICAL ANALYSIS

For this study, continuous variables were described as means and standard deviations; categorical variables were described as frequencies and percentages. For analysis, comparisons were first performed among the three study groups; moreover, community social service and medical specialty residents were grouped

as "no medical interns" for comparison with the undergraduate medical intern group. Pearson's X² test was used to compare frequencies. Mann-Whitney U test was performed for non-parametric values. For risk calculation, odds ratios (OR) and CI 95% were estimated using logistic regression.

Additionally, we tested for the association of symptoms between study groups positive for COVID-19. All statistical analyses were performed using IBM SPSS version 22.0 software (IBM Corp., Armonk, NY, USA). A significant bilateral $p < 0.05$ with respective 95% confidence intervals was considered significant.

RESULTS

This study included one hundred and seventy-three participants (82 females and 91 males, 47.4% and 52.6% respectively); also, eighty-eight participants (50.9%) corresponded to undergraduate medical interns, fifty-one (29.5%) to community social service and thirty-four (19.7%) to medical specialty residents. Eighty-one participants (46.8%) reported a positive RT-PCR SARS-CoV-2 test, and ninety-two (53.2%) were negative for RT-PCR SARS-CoV-2 test. The mean age was 25.36 years ($SD \pm 4.61$). The mean age for undergraduate medical interns was 23.85 years ($SD \pm 1.12$), 24.88 years ($SD \pm 0.95$) for community social service, and 30.02 ($SD \pm 8.79$) for medical specialty residents ($p < 0.0001$).

Three participants reported being carriers of systemic arterial hypertension (1.7%). Pulmonary chronic disease, including asthma, was not associated with COVID-19 ($p = 0.332$). None of the participants reported being carriers of type 2 diabetes or requiring hospitalization. There were no deaths related to COVID-19 infection among the participants.

Table 1 depicts the general demographic, clinical, and COVID-19 exposure characteristics of all the participants in this study. Sex and obesity were significantly associated with COVID-19 infection (OR 1.448, CI 95% 1.087 - 1.929 $p = 0.010$ and OR 6.247, CI 95% 1.427-27.353; $p = 0.005$, respectively). No significant differences were observed in the frequency of infection after comparing the groups by the

systematic use of appropriate PPE and medical rotation services. The frequency of COVID-19 disease was significantly higher in subjects exposed to colleagues, patients and family members confirmed positive for COVID-19 infection ($p=0.00045$, $p=0.00005$, and $p=0.044$, respectively).

Notably, the frequency of COVID-19 infection was significantly higher for undergraduate medical interns than in community social service undergraduate students and medical specialty residents (63.0%, 23.5%, and 13.6%, respectively; $p=0.010$). After grouping subjects, the frequency of COVID-19 infection remained consistently higher for the group of undergraduate medical interns. (63.0% versus 37.0%; OR 1.642; 95% CI 1.171 – 2.303, $p=0.003$). This finding could also be observed in public and private health care centers ($p=0.035$, OR 1.568, 95% CI 1.009 – 2.439; $p=0.015$, OR 1.938, 95% CI 1.152 – 3.263, respectively).

Table 1. Clinical, sociodemographic and exposure characteristics for all study groups

	COVID-19 (+) n=81 (46.8%) %	COVID- 19 (-) n=92 (53.2%) %	$p<0.05$	OR	CI 95%
Sex					
Female	36.6	63.4			
Male	56.0	44.0	0.010*¥	1.448	1.087 – 1.929
Rotation services					
Internal Medicine	65.0	35.0			
Surgery	76.9	23.1	0.04*¥		
Gynecology and obstetrics	48.1	51.9			
Pediatrics	60.0	40.0			
Emergency department	0	100			
Orthopaedics	50.0	50.0			
Anesthesiology	44.4	55.6			
Family Medicine	38.4	61.6			
Clínical services	44.8	55.2			
Surgical services	50.9	49.1	0.45¥	1.176	0.769 – 1.799
Systematic use of appropriate PPE					
Yes	45.1	54.9	0.20¥	0.933	0.835 – 1.042

No	60.0	40.0			
Symptomatic					
Yes	84.0	69.6	0.02*¥	1.207	1.023 – 1.424
No	16.0	30.4			
Obesity					
Yes	13.6	2.2	0.005*¥	6.247	1.427 – 27.353
No	86.4	97.8			
Exposure to patient confirmed COVID-19 cases					
Yes	86.4	58.7	0.00005*¥	2.515	1.461 – 4.328
No	13.6	41.3			
Exposure to colleagues confirmed COVID-19 cases					
Yes	77.8	52.4	0.00045*¥	1.955	1.282 – 2.980
No	22.2	47.8			
Exposure to family confirmed COVID-19 cases					
Yes	25.4	10.4	0.04*¥	1.437	1.070 – 1.930
No	74.6	89.6			
*Significative					
¥Chi square test					

The average time from the appearance of symptoms suggestive of COVID-19 infection to the completion of the RT-PCR SARS-CoV-2 test for undergraduate medical interns and “no medical intern group” was 5.89 ± 3.8 and 3.9 ± 2.9 days, respectively ($p= 0.00002$). After confirmation of COVID-19 infection, the average time spent in home isolation was 8.15 ± 4.5 and 10.22 ± 4.4 days for undergraduate and non-medical interns, respectively ($p=0.042$).

Despite the use of appropriate PPE, the frequency of infection was significantly higher in the undergraduate medical intern group (63.8% versus 36.2%; OR 1.737, 95% CI 1.194-2.527; $p = 0.003$).

Additionally, the highest risk of infection after exposure to patients and colleagues confirmed to COVID-19 occurred in the undergraduate medical intern study group (67.1% versus 32.9%; OR 1.683, 95% CI 1.184 – 2.392, $p = 0.002$ and 69.8% versus 30.2%; OR 1.701, 95% CI 1.158 – 2.498; $p = 0.003$, respectively).

A significant association was also found by exposure to family members who confirmed COVID-19 infection only for “no medical intern group” (OR 2.206, 95% CI 1.328 – 3.664, $p=0.005$).

Overall, sixty-eight participants (84%) with a positive result on the RT-PCR SARS-CoV-2 test manifested symptoms related to the infection; thirteen participants (16.0%) were asymptomatic of COVID-19 disease.

Table 2 shows the association between individual symptoms and COVID-19 infection for all participants. Interestingly, fever was not associated with COVID-19-positive results for any study group.

The highest frequency of symptomatic and asymptomatic COVID-19-positive subjects was also observed in the undergraduate medical intern group (60.3% versus 39.7%, $p = 0.037$, and 76.9% versus 23.1%, $p = 0.014$).

Table 2. Symptoms associated to risk for COVID-19 infection for all participants (%)

Symptoms	COVID-19 (+) n=81 (46.8%) %	COVID-19 (-) n=92 (53.2%) %	$p<0.05$	OR	CI 95%
Fever	37	29.3	0.283	1.197	0.869 – 1.650
Cough	35.8	10.9	0.00009*¥	1.916	1.446 – 2.539
Dyspnea	12.3	22.8	0.073	0.645	0.377 – 1.103
Runny nose	59.3	39.7	0.001*¥	1.731	1.248 – 2.400
Diarrhea	32.1	34.8	0.709	0.937	0.665 – 1.321
Headache	67.9	40.2	0.00027*¥	1.862	1.302 – 2.665
Myalgia	46.9	17.4	0.00002*¥	1.947	1.450 – 2.616
Arthralgia	23.5	8.7	0.008*¥	1.657	1.216 – 2.257
Loss of appetite	24.7	8.7	0.004*¥	1.698	1.255 – 2.297
Anosmia	30.9	4.3	0.000003*¥	2.217	1.724 – 2.850
Loss of taste	24.7	23.9	0.905	1.023	0.709 – 1.475

Fatigue | 34.6 | 13.0 | 0.001*¥ | 1.757 | 1.313 – 2.350

* Significant

¥Chi square test

Table 3 shows the association of individual symptoms between study groups positive for COVID-19 infection. Although undergraduate medical interns report a higher frequency of symptoms, only the cough and runny nose were significantly associated with COVID-19 after comparing groups.

Table 3. Association of symptoms between study groups positive to COVID-19 infection

Symptoms	Undergraduate medical interns 58 % COVID-19 (+) (%)	No medical intern 35.3 % COVID-19 (+) (%)	<i>p</i> <0.05	OR	CI 95%
Fever	59.5	40.0	0.160	1.320	0.884 – 1.970
Cough	94.4	57.1	0.008*¥	5.862	0.891 – 35.585
Dyspnea	42.1	16.7	0.140	1.527	0.915 – 2.549
Runny nose	71.1	47.1	0.030*¥	1.590	1.004 – 2.518
Diarrhea	50.0	35.0	0.275	1.231	0.851 – 1.781
Headache	66.0	53.3	0.217	1.167	0.866 – 1.572
Myalgia	71.4	68.4	0.817	1.053	0.676 – 1.640
Arthralgia	70.6	70.0	0.974	1.011	0.534 – 1.911
Loss of appetite	78.9	55.6	0.201	1.500	0.717 – 3.137
Anosmia	89.5	80.0	0.482	1.360	0.492 – 3.757
Loss of taste	54.8	27.3	0.116	1.336	0.927 – 1.925
Fatigue	70.0	70.0	1.000	1.000	0.677 – 1.478

* ¥Significative Chi square test

DISCUSSION

In this study, we report cases of COVID-19 infection among medical students who were in their clinical training periods as undergraduate medical interns from March

17, 2020, to April 05, 2021. Overall, the frequency of confirmed COVID-19 cases was significantly higher for undergraduate medical interns.

This frequency is higher than that of Lee y col., during the 2003 SARS pandemic in Hong Kong. In this report, of 69 infected health workers, 16 (23.18%) were medical students. Also, in a Rios -González y col., study, 9.02% of medical interns reported a history of a positive swab for RT-PCR SARS-CoV-2 test. (Rios-González, Diaz, & Espinola-Canata, 2021).

Despite the protective measures implemented since the pandemic's beginning, the high frequency of COVID-19 infection is noteworthy. Our results showed that performing as an undergraduate medical intern in the hospital scenario was a risk factor for acquiring the infection. A possible explanation is an increase in conditions among healthcare workers during the initial stage of the disease outbreak. (Lai y col., 2020).

In addition, our study showed that the exposure reported by colleagues and patients who confirmed positive for COVID-19 was significantly associated with the infection in this study group, not so for contact with family members.

We also noted that for the group of undergraduate medical interns, the time elapsed from the onset of symptoms to confirmation of infection was significantly longer than in the comparison group; similarly, the average time of home isolation was considerably lower for the group of undergraduate medical interns.

It is essential to highlight that undergraduate medical interns, in many circumstances, have assumed a leading role in hospital patient care since attending physicians with the highest risk factors for COVID-19 infection were separated from their working duties, in addition to the medical commitment assumed for their learning and an inherent hierarchical power applied to medical students during hospital rotations, despite the indications issued by the Dirección General de Calidad y Educación en Salud (DGCES) (Esquivel-Chirino y col., 2021).

Additionally, the higher frequency of infection could be due to shortages and inappropriate use of PPE, contact with fomites and asymptomatic subjects, as well as inadequate hospital infrastructure, and incorrect application of protocols in respiratory triage areas, among other causes. Indeed, in our study, participants reported inappropriate use of PPE.

Despite this protective measure, the provision of PPE to medical personnel remains inadequate and insufficient, particularly N95 respirators and surgical masks, mainly due to the high costs of this personal protective material (Jain, 2020).

We found an overall high frequency of subjects presenting one or more symptoms suggesting potential infection by COVID-19; these symptoms were associated with an increase in the risk for diagnosis as COVID-19 positive. Furthermore, in our study, the presence of symptoms was mainly related to COVID-19 positive in undergraduate medical interns in contrast to that reported by Bani Hani y col. (Hani y col., 2021). Moreover, we identified that the more significant symptoms were cough and runny nose for undergraduate medical interns positive for COVID-19.

The list of symptoms associated with the COVID-19 disease has been modified since the pandemic's beginning; earlier, the most prevalent clinical symptom was fever, followed by cough, fatigue, and dyspnea. A later review reported fever, cough, fatigue, slight dyspnea, sore throat, headache, conjunctivitis, and gastrointestinal as the primary clinical symptoms (Pascarella y col., 2020; Struyf y col., 2022).

Additionally, the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) and World Health Organization (WHO) have recognized three principal symptoms of COVID-19: fever, cough, and shortness of breath (dyspnea) (Control & Prevention, 2020b).

Our results showed that the prevalence of undergraduate medical interns asymptomatic and positive for COVID-19 was higher than in the other study group. This finding is a relevant topic due to the increased risk of transmission and spread of disease, which could have influenced the results of our study (Almadhi y col., 2021).

A possible explanation for this finding is that this group of health service providers avoided working in high-risk departments, endotracheal intubation procedures, airway management, and the low frequency of comorbidities. The frequency of asymptomatic COVID-19 infection is unclear yet. Recently, Qahtani y col., reported 48.9% of COVID-19 infections in asymptomatic subjects (Al-Qahtani y col., 2021).

Oran y col., described the prevalence of COVID-19 asymptomatic disease in approximately 40% to 45% of subjects. However, prevalence ranges from 6.3% to 96%, which could be a significant factor for the rapid spread of the disease (Oran & Topol, 2020).

Additionally, the frequency of COVID-19 cases with no symptoms among health workers have been variable; in a study by Fakhim y col., 102 healthcare workers (HCWs) were screened, 20.5% of them had a history of suspected infection with COVID-19, and mostly 66.6% asymptomatic (Fakhim y col., 2021).

In another study by Temkin on Israeli health workers, a low prevalence of COVID-19 was reported as well as asymptomatic subjects, highlighting the importance of correctly using PPE (Temkin y col., 2021).

Many studies have a focus on exclusively reporting SARS-CoV-2 positive on symptomatic patients and lacking an uninfected control group who may also exhibit some symptoms; thus, it is crucial to assess the presence of individual or combination of different symptoms (Dixon y col., 2021).

Our study may have some limitations. First, the information collected and provided by the participants does not allow us to identify where the infection occurred (workplace, at home, or in the community); however, we made an attempt to overcome this weakness by knowing the result of the COVID-19 test in the patient, colleague or family member confirmed positive for the disease.

Also, the RT-PCR SARS-CoV-2 tests were carried out in different public and private health institutions endorsed by the corresponding health authority; however, they were carried out with the techniques described and qualified personnel, according to the guidelines specified by the CDC. Additionally, we included the average time

from the suspected contact and appearance of symptoms suggestive of COVID-19 infection to the completion of the RT-PCR SARS-CoV-2 test for both study groups, according to the recommended. (Beeching, Fletcher, & Beadsworth, 2020).

Another limitation of our study is that no complementary tests were performed, such as chest computed tomography or tests to evaluate hematological or biochemical parameters. However, the participants in this study were classified as having mild COVID-19.

Conclusions

In conclusion, we found a high frequency of symptomatic and asymptomatic COVID-19 positives among undergraduate medical interns. Our finding implies recognizing them as a particular group at risk of infection and promoting the increase of protection measures and the availability of RT-PCR SARS-CoV-2 tests; also, the current availability of vaccines makes it necessary to consider this group of health service providers a priority. Undoubtedly, all of the above described will allow students in clinical cycles to adapt more securely to the challenges they must face with this pandemic and perhaps others in the future.

Acknowledgments

We thank the administrative authorities of the Faculty of Medicine for their support in developing this research. We also acknowledge and appreciate the participants who have provided valuable information and their consent for developing this research.

Funding

The authors declare that no funding was received for this research.

REFERENCES

- Al-Qahtani, M., AlAli, S., AbdulRahman, A., Alsayyad, A. S., Otoom, S., & Atkin, S. L. (2021). The prevalence of asymptomatic and symptomatic COVID-19 in a cohort of quarantined subjects. *International journal of infectious diseases*, 102: 285-288.
- Almadhi, M. A., Abdulrahman, A., Sharaf, S. A., AlSaad, D., Stevenson, N. J., Atkin, S. L., & AlQahtani, M. M. (2021). The high prevalence of asymptomatic SARS-CoV-2 infection reveals the silent spread of COVID-19. *International journal of infectious diseases*, 105: 656-661.
- Beeching, N. J., Fletcher, T. E., & Beadsworth, M. B. J. (2020). Covid-19: testing times. *BMJ (Clinical research ed.)*, 369, m1403. <https://doi.org/10.1136/bmj.m1403>.
- Belingeri, M., Paladino, M., & Riva, M. (2020). Beyond the assistance: additional exposure situations to COVID-19 for healthcare workers. *Journal of Hospital Infection*, 105(2): 353.
- Chan, J. F.-W., Yuan, S., Kok, K.-H., To, K. K.-W., Chu, H., Yang, J., . . . Poon, R. W.-S. (2020). A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *The Lancet*, 395(10223): 514-523.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020). CDC 2019-novel coronavirus (2019-nCoV) real-time RT-PCR diagnostic panel.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2020). Symptoms of coronavirus.
- Dixon, B. E., Wools-Kaloustian, K. K., Fadel, W. F., Duszynski, T. J., Yiannoutsos, C., Halverson, P. K., & Menachemi, N. (2021). Symptoms and symptom clusters associated with SARS-CoV-2 infection in community-based populations: Results from a statewide epidemiological study. *PLoS ONE*, 16(3): e0241875.
- Esquivel-Chirino, C., Valero-Princet, Y., Gaitán-Cepeda, L. A., Hernández-Hernández, C., Hernández, A. M., Laparra-Escareño, H., . . . Hernández-Sánchez, F. (2021). The effects of covid-19 on healthcare workers and non-

- healthcare workers in Mexico: 14 months into the pandemic. *Medicina*, 57(12): 1353.
- Fakhim, H., Nasri, E., Aboutalebian, S., Gholipour, S., Nikaeen, M., Vaezi, A., Javanmard, S. H. (2021). Asymptomatic carriers of coronavirus disease 2019 among healthcare workers in Isfahan, Iran. *Future Virology*, 16(2): 93-98.
- Hani, A. B., Alaridah, N., Abeeleh, M. A., Shatarat, A., Rayyan, R., Kamal, A., . . . Al-Taher, R. N. (2021). Medical students and risk of COVID-19 infection: A descriptive cross-sectional study from the University of Jordan. *Annals of Medicine and Surgery*, 70: 102775.
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., . . . Gu, X. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223): 497-506.
- Jain, U. (2020). Risk of COVID-19 due to shortage of personal protective equipment. *Cureus*, 12(6):e8837
- Lai, X., Wang, M., Qin, C., Tan, L., Ran, L., Chen, D., . . . Wang, S. (2020). Coronavirus disease 2019 (COVID-2019) infection among health care workers and implications for prevention measures in a tertiary hospital in Wuhan, China. *JAMA network open*, 3(5): e209666-e209666.
- Lee, N., Hui, D., Wu, A., Chan, P., Cameron, P., Joynt, G. M., . . . To, K. (2003). A major outbreak of severe acute respiratory syndrome in Hong Kong. *New England journal of medicine*, 348(20): 1986-1994.
- Lewis, D. (2021). COVID-19 rarely spreads through surfaces. So why are we still deep cleaning. *Nature*, 590(7844): 26-28.
- Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y., Wong, J. Y. (2020). Early transmission dynamics in Wuhan, China, of novel coronavirus–infected pneumonia. *New England journal of medicine*. 382:1199-1207
- Li, R., Pei, S., Chen, B., Song, Y., Zhang, T., Yang, W., & Shaman, J. (2020). Substantial undocumented infection facilitates the rapid dissemination of novel coronavirus (SARS-CoV-2). *Science*, 368(6490): 489-493.

- Menon, A., Klein, E. J., Kollars, K., & Kleinhenz, A. L. W. (2020). Medical Students Are Not Essential Workers: Examining Institutional Responsibility During the COVID-19 Pandemic. *Academic medicine : journal of the Association of American Medical Colleges*, 95(8): 1149–1151. <https://doi.org/10.1097/ACM.0000000000003478>
- Oran, D. P., & Topol, E. J. (2020). Prevalence of asymptomatic SARS-CoV-2 infection: a narrative review. *Annals of internal medicine*, 173(5): 362-367.
- Pascarella, G., Strumia, A., Piliego, C., Bruno, F., Del Buono, R., Costa, F., . . . Agrò, F. E. (2020). COVID-19 diagnosis and management: a comprehensive review. *Journal of internal medicine*, 288(2): 192-206.
- Rios-González, C. M., Diaz, A. R. R. R., & Espinola-Canata, M. (2021). Conocimientos sobre Bioseguridad en el contexto de la pandemia por COVID-19: un estudio en pasantes de salud del Paraguay. *Revista de salud publica del Paraguay*, 11(1): 48-53.
- CDC, C. (2020). Specific primers and probes for detection 2019 novel coronavirus. National Institute for Viral Disease Control and Prevention. http://ivdc.chinacdc.cn/kyjz/202001/t202001_21_211337.html. Accessed, 02-01.
- Struyf, T., Deeks, J. J., Dinnes, J., Takwoingi, Y., Davenport, C., Leeflang, M. M., Domen, J. (2022). Signs and symptoms to determine if a patient presenting in primary care or hospital outpatient settings has COVID-19. *Cochrane Database of Systematic Reviews*(5). <https://doi.org/10.1002/14651858.CD013665.pub3>
- Sung, H., Roh, K. H., Hong, K. H., Seong, M.-W., Ryoo, N., Kim, H. S., . . . Kim, M.-N. (2020). COVID-19 molecular testing in Korea: practical essentials and answers from experts based on experiences of emergency use authorization assays. *Annals of Laboratory Medicine*, 40(6): 439-447.

- Suwantarat, N., & Apisarnthanarak, A. (2015). Risks to healthcare workers with emerging diseases: lessons from MERS-CoV, Ebola, SARS, and avian flu. *Current opinion in infectious diseases*, 28(4): 349-361.
- Temkin, E., Schwaber, M. J., Solter, E., Vaturi, A., Hen, D., Lugassy, C. G., . . . Ben-Zvi, H. (2021). Extremely low prevalence of asymptomatic COVID-19 among healthcare workers caring for COVID-19 patients in Israeli hospitals: a cross-sectional study. *Clinical Microbiology and Infection*, 27(1): 130. e131-130. e134.
- Wu, C., Chen, X., Cai, Y., Zhou, X., Xu, S., Huang, H., . . . Zhang, Y. (2020). Risk factors associated with acute respiratory distress syndrome and death in patients with coronavirus disease 2019 pneumonia in Wuhan, China. *JAMA internal medicine*, 180(7): 934-943.
- Wu, Z., & McGoogan, J. M. (2020). Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: summary of a report of 72 314 cases from the Chinese Center for Disease Control and Prevention. *jama*, 323(13): 1239-1242.
- Yamamoto-Moreno, J. A., Pineda-Aguilar, C., Ruiz-Pérez, S., Gortarez-Quintana, G. L., & Ruiz-Dorado, M. A. (2020). SARS-CoV-2 Infection Among Healthcare Workers in Tijuana, Mexico: A cross-sectional study. *International Journal of Medical Students*, 8(3): 220-230.
- Zhou, F., Yu, T., Du, R., Fan, G., Liu, Y., Liu, Z., . . . Gu, X. (2020). Clinical course and risk factors for mortality of adult inpatients with COVID-19 in Wuhan, China: a retrospective cohort study. *The Lancet*, 395(10229): 1054-1062.

Nanoportadores híbridos termo/pH sensibles a partir del uso de soportes inorgánicos de magnetita y sílice para la liberación controlada de fármacos antineoplásicos.

Thermo/pH sensitive hybrid nanocarriers from the use of inorganic supports of magnetite and silica for the controlled release of antineoplastic drugs.

Jorge L. Sánchez-Orozco*, Luis A. García-Cerda*, H. Iván Meléndez-Ortiz, Bertha A. Puente-Urbina.

Centro de Investigación en Química Aplicada, Departamento de Materiales Avanzados, Blvd. Enrique Reyna Hermosillo #140, 25294, Saltillo, Coahuila, México

*Correo de autor de correspondencia:

jorge.sanchez.ps@ciqa.edu.mx

luis.garcia@ciqa.edu.mx

Resumen

Actualmente, existe una gran necesidad de preparar nanoportadores de fármacos antineoplásicos efectivos en la entrega selectiva del fármaco para mejorar su eficiencia terapéutica. Como resultado, se han diseñado nanoportadores híbridos mediante la conjugación de polímeros inteligentes con nanomateriales inorgánicos. Esto se debe a que la combinación de dos o más materiales puede mejorar sus propiedades y crear materiales con cualidades nuevas, únicas y superiores. Por lo tanto, aquí se presenta una breve revisión sobre el diseño de nanoportadores de fármacos antineoplásicos a partir de la conjugación de polímeros inteligentes con nanopartículas de magnetita (NPsFe_3O_4) y nanopartículas de sílices mesoporosas (MSN).

Palabras Clave: Nanoportadores; magnetita; sílices mesoporosas; polímeros inteligentes; fármacos antineoplásicos.

Abstract

Currently, there is a great need to prepare effective antineoplastic drug nanocarriers in selective drug delivery to improve therapeutic efficiency. As a result, hybrid nanocarriers have been designed by conjugating smart polymers with inorganic nanomaterials. This is because the combination of two or more materials can enhance their properties and create materials with new, unique, and superior qualities. Therefore, here it is presented a brief review on the design of antineoplastic

drug nanocarriers from the conjugation of smart polymers with magnetite nanoparticles (NPsFe_3O_4) and mesoporous silica nanoparticles (MSN).

Keywords: Nanocarriers; magnetite; mesoporous silica; smart polymers; antineoplastic drugs.

1. Introducción

El cáncer es una enfermedad con una alta tasa de mortalidad que se produce cuando las células normales adquieren una serie de mutaciones, lo que resulta en una proliferación celular descontrolada (Bray y col., 2020). La terapia tradicional contra el cáncer se basa en la administración de fármacos antineoplásicos por vía intravenosa, la cual es ineficaz y puede tener efectos secundarios negativos. Actualmente, se ha reportado la preparación de diferentes sistemas a partir del uso de los nanomateriales como alternativas para el tratamiento del cáncer (Sriraman y col., 2014). Los componentes orgánicos e inorgánicos que se han empleado típicamente para preparar estos sistemas de administración de fármacos han sido capaces de cargar y liberar cantidades específicas de fármacos de manera controlada. Dentro de estos sistemas se encuentran las MSN (Hu y col., 2014), NPsFe_3O_4 y la conjugación de estos materiales inorgánicos con polímeros de respuesta al pH y temperatura (Yang y col., 2013).

Por lo tanto, esta revisión se centra en la investigación de nuevos nanoportadores para la entrega controlada de fármacos antineoplásicos, específicamente, el diseño de nuevos nanoportadores híbridos inteligentes a partir de la conjugación de NPsFe_3O_4 y MSN con polímeros estímulo-sensibles al pH y temperatura.

2. Nanoportadores híbridos inteligentes

Los nanoportadores híbridos inteligentes son aquellos que se preparan combinando materiales orgánicos e inorgánicos y que pueden responder a diferentes estímulos externos. Generalmente, estos materiales híbridos se preparan mediante la unión covalente de cadenas poliméricas de respuesta (temperatura, pH, ultrasonido, etc.) con nanopartículas (NPs) metálicas o de diferentes óxidos como TiO_2 y de SiO_2 (Sánchez y col., 2023). Los nanoportadores híbridos inteligentes con sensibilidad a la temperatura y pH son los más ampliamente estudiados en aplicaciones de administración de fármacos en terapias alternativas para el cáncer, ya que el microambiente alrededor de las células tumorales es diferente del que rodea a las células sanas (pH más bajo y temperatura más alta) (Ferreira y col., 2020).

2.1. Polímeros inteligentes

Los polímeros inteligentes experimentan cambios químicos o físicos reversibles de forma rápida en respuesta a pequeños estímulos externos. Los estímulos a los que responden estos polímeros se pueden clasificar como estímulos físicos y químicos (Figura 1). La respuesta de un polímero sensible se clasifica en aquellos que

únicamente cambian su dimensión/tamaño de cadena individual, estructura secundaria y/o solubilidad. Por otra parte, estos polímeros también pueden ser susceptibles a alteraciones más abruptas en las estructuras poliméricas o grupos colgantes de las cadenas poliméricas, tras la aplicación de un estímulo específico (Peponi y col., 2017).

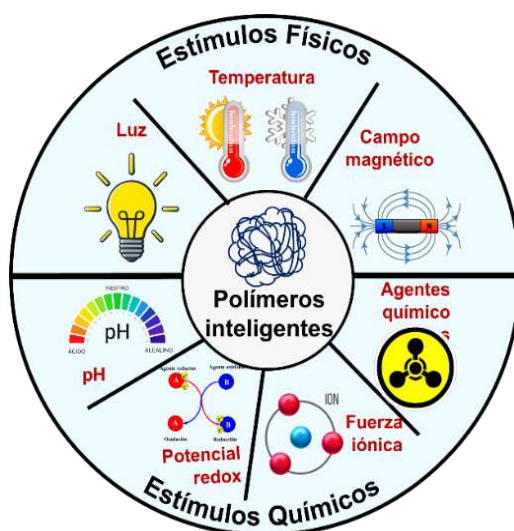


Figura 1. Clasificación de los polímeros inteligentes.

2.2.Generalidades de NPsFe₃O₄.

Las NPs de óxido de hierro están formadas por Fe³⁺ y/o Fe²⁺ en presencia de O²⁻, que varían en tamaño de 1 a 100 nm de diámetro y generalmente tienen forma esférica. Las dos principales NPs de óxidos de hierro son Fe₃O₄ y maghemita (γFe₂O₃). La Fe₃O₄ cristaliza en una estructura de tipo espinela inversa en la que los aniones de oxígeno forman una red cúbica centrada en las caras (FCC) y los

grandes intersticios entre O_2 están parcialmente ocupados por cationes de hierro (Dudchenko y col., 2022). La Fe_3O_4 es una de las fases cristalográficas más interesantes ya que exhibe una excelente estabilidad química, biocompatibilidad y propiedades superparamagnéticas cuando su tamaño es inferior a 30 nm de diámetro (Hadadian y col., 2022). Las propiedades superparamagnéticas de las $NPsFe_3O_4$ han permitido el desarrollo de nuevas alternativas de tratamientos en el campo biomédico, como el tratamiento de hipertermia magnética para el cáncer (Morfin y col., 2018), direccionamiento magnético (Liu y col., 2019) y liberación controlada de fármacos (Wallyn y col., 2019).

La liberación controlada permite la localización de la actividad del fármaco únicamente en las áreas deseadas. Una de las estrategias desarrolladas para este propósito es utilizar materiales que respondan a diferentes estímulos como el pH, temperatura y/o campos magnéticos (Figura 2). El desarrollo de nanocompuestos híbridos con la combinación de $NPsFe_3O_4$ y polímeros termosensibles como poli(N-isopropilacrilamida) (PNIPAAm) y poli(N-vinilcaprolactama) (PNVCL) son de los sistemas más estudiados para la administración de fármacos y que van de la mano con el tratamiento de hipertermia magnética (Morfin y col., 2018). Esto se debe a que las $NPsFe_3O_4$ tienen la capacidad de producir calor cuando se exponen a un campo magnético alterno y entonces conducir a que las estructuras poliméricas que recubren las NPs se contraigan y expulsan las moléculas del fármaco contenidos en su estructura (Morfin y col., 2018; Sánchez y col., 2023).

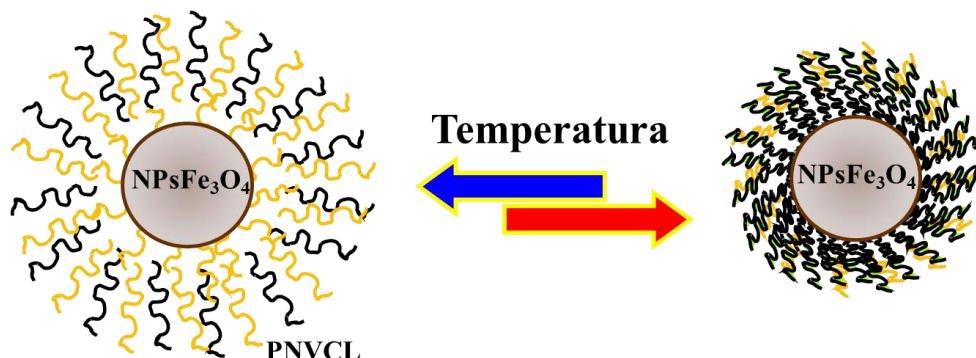


Figura 2. Representación de los nanocompuestos híbridos magnéticos con respuesta a la temperatura.

2.2.1. Nanoportadores híbridos inteligentes a partir del uso de NPsFe_3O_4 para liberación controlada de fármacos antineoplásicos.

Las NPsFe_3O_4 han sido aprobadas por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés) para uso médico, por lo tanto, han atraído mucha atención por diferentes grupos de investigación para el desarrollo de nanoportadores fármacos antineoplásicos. Tal es el caso de Yadavalli y col., que sintetizaron nanoportadores híbridos inteligentes sensible a la temperatura y campo magnético, conformado por NPsFe_3O_4 injertadas con quitosano (CS). Ellos realizaron estudios de carga y liberación de curcumina para estudiar el comportamiento de respuesta dual. Los estudios de liberación *in vitro* mostraron que los nanoportadores liberaron solamente 10 % de la curcumina sin la aplicación de un campo magnético, mientras que al aplicar temperatura y un campo magnético, el sistema liberó 70 % de la curcumina en solo 10 min (Yadavalli

y col., 2015). Por otro lado, Pham y col., prepararon un sistema híbrido a base de NPsFe_3O_4 recubiertas con CS las cuales fueron cargadas con curcumina. Los estudios de liberación *in vitro* mostraron que 70 % de la curcumina cargada en estos nanoportadores podría liberarse de manera controlada en dos días. Además, los sistemas demostraron actividad anticancerígena en células cancerosas A549 con una concentración inhibidora media máxima (IC_{50}) de 73 $\mu\text{g/mL}$ (Pham y col., 2016). De igual forma, Amantea y col., reportaron la preparación de NPsFe_3O_4 modificadas con los copolímeros poli(N-isopropilacrilamida-co-ácido acrílico) (PNIPAAm-co-PAA) y poli(N-vinilcaprolactama-co-ácido acrílico) (PNVCL-co-PAA) esterificados con 1-pentanol y posteriormente realizaron estudios de liberación de metotrexato (MTX). Ellos estudiaron la liberación del MTX con la variación de la temperatura ocasionada por una alternación del campo magnético. Los resultados obtenidos mostraron que ambos sistemas (PNIPAAm-co-PAA y PNVCL-co-PAA) tuvieron un comportamiento diferente en la liberación, ya que el copolímero esterificado de PNIPAAm mostró un aumento en la liberación del fármaco a 43 °C, mientras que, la esterificación de PNVCL la disminuyó (Amantea y col., 2019). De manera análoga, Gao y col., investigaron el desarrollo de un sistema híbrido inteligente dual redox sensible a la temperatura a base de NPsFe_3O_4 modificadas con metacrilato de 2-isocianatoetilo (IEM), N,N'-bis(acrilóil)cistamina (BAC) como agente de reticulación y PNVCL ($\text{PNVCL/Fe}_3\text{O}_4$). Los nanoportadores mostraron una buena estabilidad estructural, comportamiento superparamagnético y respuesta reversible a la temperatura. Además, los nanoportadores podían degradarse en condiciones

reducidas, rompiendo el enlace disulfuro en los puntos de reticulación. El grupo de investigación utilizó 5-fluorouracilo (5-FU) como fármaco antineoplásico para evaluar el comportamiento de carga/ liberación de estos nanoportadores y reportaron que la liberación del fármaco podría ajustarse mediante la variación de la temperatura externa, la condición redox o su combinación (Gao y col., 2020). Recientemente, Morfin y col., reportaron la preparación de un nanoportador híbrido sensible a la temperatura con injertos de cadenas de PNVCL sobre NPsFe_3O_4 mediante polimerización por radicales libres para su uso en la entrega controlada de doxorubicina (DOX). Los resultados mostraron alta hemobiocompatibilidad con una eficiencia de encapsulación de DOX de aproximadamente 35-47 % y liberación *in vitro* máxima de 42 %, la cual dependía del contenido de polímero en los nanoportadores (Morfin y col., 2020). De igual forma, nuestro grupo de investigación ha reportado nuevos sistemas de liberación de fármacos antineoplásicos de respuesta dual al pH y temperatura, a partir del injerto de cadenas de poli(N-vinilcaprolactama-co-ácido metacrílico) (PNVCL-co-MAA) (Sánchez y col., 2023) y poli(N-vinilcaprolactama-co-2-(dietilamino)etil metacrilato) (PNVCL-co-DEAEMA) (Sánchez y col., 2023) sobre NPsFe_3O_4 recubiertas con sílice. De manera general, se observó que en todos los casos los sistemas demostraron un alto potencial para su empleo como sistemas de liberación controlada de fármacos, liberando hasta 98 % del fármaco en respuesta al cambio del pH y/o temperatura. Adicionalmente, en la Tabla 1 se incluyen diferentes sistemas de administración de fármacos que han sido desarrollados recientemente por otros grupos de investigación.

Tabla 1. Nanoportadores híbridos magnéticos inteligentes desarrollados por diferentes grupos de investigación para liberación controlada de fármacos anticancerígenos.

Tipo de Material	Modificación	Respuesta a estímulo	Fármaco	Referencia
NPsFe ₃ O ₄ -MSN	PMAA	pH	DOX	(Wen y col., 2013)
NPsFe ₃ O ₄	PLA-PEG	pH	MTX	(Chen y col., 2013)
NPsFe ₃ O ₄	Poli(dopamina) (PDA)	pH	Bortezomib (BTZ)	(Liu y col., 2013)
NPsFe ₃ O ₄ -MSN	Polietilenglicol (PEG)	pH	Pt (II)	(Rejeeth y col., 2015)
NPsFe ₃ O ₄ /SiO ₂	PNIPAAm	Temperatura	5-FU	(Shen y col., 2016)
NPsFe ₃ O ₄ -Au/SiO ₂	Poli(MAA-co-NIPAAm)	pH, temperatura	DOX	(Wang y col., 2017)
NPsFe ₃ O ₄	Poli(dopamina) (PDA)-PEG	Temperatura, Irradiación cercana normal (NIR)	DOX	(Mu y col., 2017)
NPsFe ₃ O ₄ /SiO ₂	CS-g-NIPAAm	pH, temperatura, campo magnético alterno (AMF)	DOX	(Pon-On y col., 2019)
NPsFe ₃ O ₄ -zeolita	Poli(ácido láctico) (PLA)-CS	AMF	DOX	(Abasian y col., 2019)
NPsMFe ₂ O ₄ /SiO ₂ (M= Ni, Cu, Co y Mn)	CS	pH	Pt (II)	(Jermy y col., 2020)
NPsHf _{0.6} Fe _{2.4} O ₄	PNVCL	Temperatura	DOX	(Rivera y col., 2023)

2.3.Nanopartículas de sílices mesoporosas (MSN).

Las MSN son materiales que se forman por condensación de SiO_2 alrededor de micelas orgánicas, en condiciones básicas, ácidas y/o neutras, obteniendo una matriz ordenada de estructuras porosas con cientos de mesoporos dispuestos a nivel atómico (Hoang y col., 2019) (Figura 3). Según la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), los materiales mesoporosos se definen como aquellos que tienen estructura con disposición ordenada de poros con tamaños de poro en el intervalo de 2 a 50 nm. Las MSN han recibido considerable atención debido a sus propiedades únicas, tales como una red organizada de poros, gran área específica ($> 1000 \text{ m}^2/\text{g}$) y volumen de poros, diámetro de poro ajustable con una estrecha distribución, biocompatibilidad y superficies fácilmente funcionalizables (debido a sus grupos $-\text{SiOH}$). Además, pueden producirse en una amplia gama de morfologías (esferas, varillas, discos, polvos) y geometrías de poros (hexagonales, cubos, lamelares, espumas) (Bharti y col., 2015). La superficie de las MSN puede ser modificada mediante varias estrategias con diversos grupos funcionales para mejorar sus propiedades fisicoquímicas y su respuesta a diferentes estímulos (Deodhar y col., 2017; Matei y col., 2019). Estas propiedades las hacen candidatos muy prometedores para el uso como nanoportadores para la entrega de fármacos. Cabe mencionar que ya se han utilizado las MSN para la administración de compuestos activos por vía oral e intravenosa (Bharti y col., 2015). De igual forma, se han realizado estudios *in vitro* sobre la citotoxicidad de NPs basadas en SiO_2 y se ha demostrado que las MSN y NPs basadas en SiO_2 coloidal no afectan la viabilidad celular o la integridad de la membrana plasmática, por lo tanto, se

pueden considerar como materiales con un alto potencial para aplicaciones farmacológicas (Niculescu, 2020).

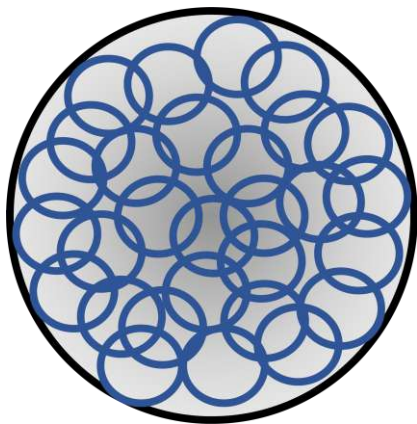


Figura 3. Representación de estructura principal de las MSN.

2.3.1. Nanoportadores híbridos inteligentes a partir del uso de MSN para liberación controlada de fármacos antineoplásicos.

La aplicación de MSN en administración de fármacos también ha atraído mucha atención debido a las propiedades químicas favorables, estabilidad térmica, biocompatibilidad y biodisponibilidad mejorada (Vallet y col., 2022). Las MSN son uno de los materiales sólidos más versátiles y se encuentran disponibles en una amplia variedad de tamaños de partículas, con alta uniformidad, distribuciones de tamaño estrechas y morfologías diferentes. Sin embargo, a pesar de que las MSN poseen una gran capacidad de carga, los fármacos anticancerígenos cargados tienden a liberarse rápido y fácilmente. Por lo tanto, las MSN se han conjugado con diferentes polímeros para liberar el fármaco de una forma más controlada (Figura

4), prevenir la liberación prematura, proporcionar una liberación sostenida del fármaco y como resultado mejorar el índice terapéutico al reducir los efectos secundarios que ocasionan los diferentes medicamentos contra el cáncer (Bagheri y col., 2018).

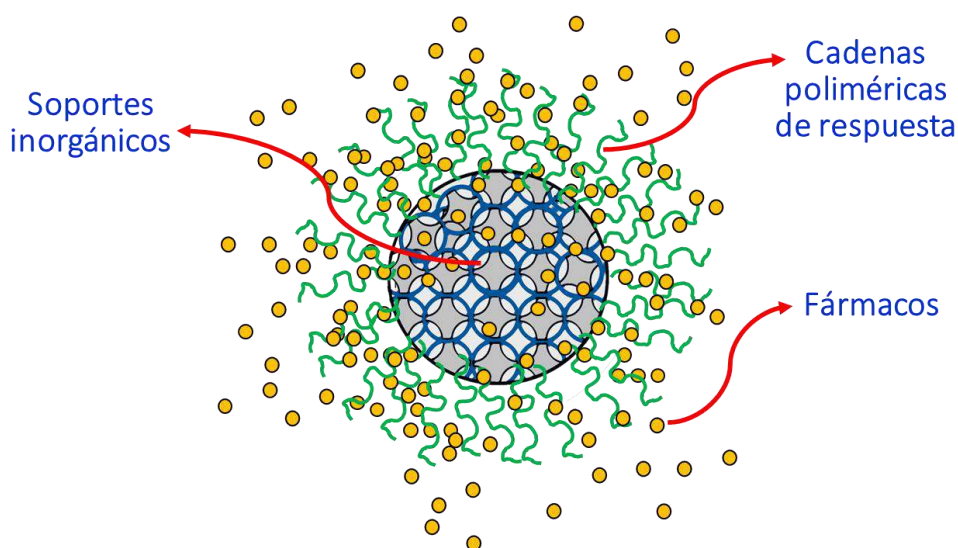


Figura 4. Mecanismo de liberación de fármacos desde nanocompuestos híbridos de sílice.

Abbaszad y col., sintetizaron sílice MSN del tipo MCM-41 modificada con poli(4-vinilpiridina) (PVP) y realizaron estudios de carga y liberación de MTX, un fármaco anticancerígeno, a diferentes pH. Las sílices actuaron como contenedores del fármaco anticancerígeno y la PVP como un guardián sensible al pH. El sistema preparado liberó el fármaco cuando el pH disminuyó, ya que en medios ácidos, las fuerzas repulsivas entre cadenas poliméricas cargadas positivamente condujeron a la liberación de MTX de los poros de la sílice (Abbaszad y col., 2016).

Recientemente, Hu y col., reportaron la síntesis de un nanoportador biocompatible a base de sílices MCM-41 recubiertas con CS con respuesta al pH. Los resultados de carga y liberación de DOX sugirieron que al disminuir el pH del medio aumentaba drásticamente el porcentaje de liberación de DOX al medio (Hu y col., 2014). Por otro lado, Karesoja y col., reportaron la preparación de un sistema termosensible a base de MSN injertado con cadenas de poli(óxido de etileno-b-N-vinilcaprolactama) (PEO-b-PVCL) mediante polimerización por SI-ATRP. Este material híbrido podría utilizarse para la entrega selectiva de fármacos ya que las propiedades termosensibles de las cadenas del PNVCL y alta capacidad de carga de las MSN podrían proporcionar un buen control sobre el comportamiento de la carga y liberación del fármaco (Karesoja y col., 2013). De manera análoga, Li y col., diseñaron y sintetizaron un sistema de coadministración dual de fármacos basado en MSN modificadas con PAA para la combinación de dos fármacos (DOX y cisplatino (Pt (II))). Primeramente, ellos encapsularon la DOX en los mesoporos de las MSN y conjugaron el Pt (II) con grupos carboxilo para formar capas de reticulación sensibles al pH sobre la MSN. El comportamiento de liberación del fármaco de los nanocompuestos con doble carga de fármaco fue sensible a pH. Como resultado, 70 % de Pt (II) y 80 % de DOX se liberaron en 144 h a pH 5.5, mientras que solo 16 % de Pt (II) y 25 % de DOX se liberaron a pH 7.4. Estos resultados sugirieron un potencial uso como sistemas de liberación de fármacos duales (Li y col., 2016). Adicionalmente, en la Tabla 2 se muestran otros sistemas

reportados a partir del uso de sílices MSN como soporte inorgánico en la preparación de los nanocompuestos híbridos inteligentes.

Tabla 2. Nanoportadores híbridos inteligentes a base de sílices MSN desarrollados por diferentes grupos de investigación para liberación controlada de fármacos anticancerígenos.

Tipo de MSN	Modificación	Respuesta a estímulo	Fármaco	Referencia
MSN	Poli(2-dimetilaminoetil-metacrilato)-PEG	pH	DOX	(Tian y col., 2013)
MSN	Poli(NIPAAm-co-MAA)	pH temperatura	Pt (II)	(Liu y col., 2014)
MSN	Tetrafenil porfirina de zinc PEGilada	pH	DOX	(Yao y col., 2015)
MSN	PDEAEMA	pH, luz UV, redox	DOX	(Zhang y col., 2015)
MSN	PDEAEMA	pH, luz UV	DOX	(Wang y col., 2016)
SBA-15	Poli(2-metacrilolioxetil fosforilcolina-co-ácido itacónico)	pH	Pt (II)	(Huang y col., 2017)
MSN	PAA	pH	Pt (II)	(Rejeeth y col., 2017)
SBA-15	Poli(etilenglicol) metil éter metacrilato (PEGMA)-ácido itacónico	pH	Pt (II)	(Huang y col., 2017)
SBA-15	PAA	pH	DOX	(Tian y col., 2017)

MSN	Alginato de sodio	Redox, pH	DOX	(Yuan y col., 2018)
MSN	HA	pH	DOX	(Palanikumar y col., 2018)
MSN	Poli(dopamina)-oro (PDA-Au)	NIR, pH	DOX	(Rahoui y col., 2018)
MCM-41	CS-folato	pH	Anastrozol (ATZ)	(Bhavsar y col., 2019)
MSN	Óxido de grafeno (GO) y ácido hialurónico (HA)	pH	Cinamaldehído (CA) y DOX	(Dong y col., 2020)
MSN	Poli(NIPAAm-co-AA)	pH, temperatura	DOX	(Porrang y col., 2021)

Conclusiones

En esta revisión se abordaron los principales nanoportadores híbridos basados en el injerto de cadenas poliméricas inteligentes sobre MSN y NPsFe_3O_4 . Con base en los resultados de la búsqueda bibliográfica se concluyó que las NPsFe_3O_4 y MSN tienen excelentes propiedades para su aplicación en biomedicina, y que estas propiedades pueden incrementarse mediante el injerto de cadenas poliméricas sensibles a estímulos, permitiendo no solo el almacenamiento de un fármaco, sino también su liberación eficiente y controlada. Sin embargo, es importante reiterar que aún se deben realizar pruebas toxicológicas, pruebas *in vivo* y estudios clínicos de los materiales aquí discutidos antes de que puedan utilizarse como una opción en el tratamiento del cáncer.

Referencias Bibliográficas

- Abasian, P., Radmansouri, M., Habibi Jouybari, M., Ghasemi, M. V., Mohammadi, A., Irani, M. & Jazi, F. S. (2019). Incorporation of magnetic NaX zeolite/DOX into the PLA/chitosan nanofibers for sustained release of doxorubicin against carcinoma cells death in vitro. *International Journal of Biological Macromolecules*. 121: 398-406. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2018.09.215.
- Abbaszad, A., Mahkam, M., Davaran, S. & Hamishehkar, H. (2016). A Smart pH-responsive Nano-Carrier as a Drug Delivery System: A hybrid system comprised of mesoporous nanosilica MCM-41 (as a nano-container) & a pH-sensitive polymer (as smart reversible gatekeepers): Preparation, characterization and in vitro release studies of an anti-cancer drug. *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. 93: 64-73. DOI: 10.1016/j.ejps.2016.08.005.
- Amantea, B., Piazza, R., Chacon, J., Santos, C., Costa, T., Rocha, C. & Marques, R. (2019). Esterification influence in thermosensitive behavior of copolymers PNIPAm-co-PAA and PNVCL-co-PAA in magnetic nanoparticles surface. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 575: 18-26. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.04.011.
- Bagheri, E., Ansari, L., Abnous, K., Taghdisi, S., Charbgo, F., Ramezani, M. & Alibolandi, M. (2018). Silica based hybrid materials for drug delivery and bioimaging. *Journal of Controlled Release*. 277: 57-76. DOI: 10.1016/j.jconrel.2018.03.014.
- Bharti, C., Nagaich, U., Pal, A. & Gulati, N. (2015). Mesoporous silica nanoparticles in target drug delivery system: A review. *International Journal of Pharmaceutical Investigation*. 5: 124-133. DOI: 10.4103/2230-973x.160844.
- Bhavsar, D., Gajjar, J. & Sawant, K. (2019). Formulation and development of smart pH responsive mesoporous silica nanoparticles for breast cancer targeted delivery of anastrozole: In vitro and in vivo characterizations. *Microporous and Mesoporous Materials*. 279: 107-116. DOI: 10.1016/j.micromeso.2018.12.026.
- Bray, F., Ferlay, J., Soerjomataram, I., Siegel, R., Torre, L. & Jemal, A. (2020). Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *Ca: A Cancer Journal for Clinicians*. 70: 313-313. DOI: 10.3322/caac.21609.

- Chen, F., Zhao, T., Chen, Q., Han, L., Fang, S. & Chen, Z. (2013). Synthesis and release behavior of methotrexate from Fe₃O₄/PLA-PEG core/shell nanoparticles with high saturation magnetization. *Materials Letters*. 108: 179-182. DOI: 10.1016/j.matlet.2013.06.108.
- Deodhar, G. V., Adams, M. & Trewyn, B. G. (2017). Controlled release and intracellular protein delivery from mesoporous silica nanoparticles. *Biotechnology Journal*. 12: 1600408. DOI: 10.1002/biot.201600408.
- Dong, K., Zhao, Z., Kang, J., Lin, L., Chen, W., Liu, J. & Lu, T. (2020). Cinnamaldehyde and Doxorubicin Co-Loaded Graphene Oxide Wrapped Mesoporous Silica Nanoparticles for Enhanced MCF-7 Cell Apoptosis. *International Journal of Nanomedicine*. 15: 10285-10304. DOI: 10.2147/ijn.s283981.
- Dudchenko, N., Pawar, S., Perelshtein, I. & Fixler, D. (2022). Magnetite Nanoparticles: Synthesis and Applications in Optics and Nanophotonics. *Materials*. 15: 2601. DOI: 10.3390/ma15072601.
- Ferreira, D., Domingues, S., Viana, D. & Tebaldi, M. (2020). Polymer-hybrid nanoparticles: Current advances in biomedical applications. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 131: 110695. DOI: 10.1016/j.biopha.2020.110695.
- Gao, F., Wu, X., Wu, D., Yu, J., Yao, J., Qi, Q. & Mi, Y. (2020). Preparation of degradable magnetic temperature- and redox-responsive polymeric/Fe₃O₄ nanocomposite nanogels in inverse miniemulsions for loading and release of 5-fluorouracil. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 587: 124363. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2019.124363.
- Hadadian, Y., Masoomi, H., Dinari, A., Ryu, C., Hwang, S., Kim, S. & Yoon, J. (2022). From Low to High Saturation Magnetization in Magnetite Nanoparticles: The Crucial Role of the Molar Ratios Between the Chemicals. *American Chemical Society Omega*. 7: 15996-16012. DOI:10.1021/acsomega.2c01136.
- Hoang, T., Cao, V., Nguyen, T., Hoang, D., Ngo, V. & Nguyen, D. (2019). Functionalized mesoporous silica nanoparticles and biomedical applications. *Materials Science and Engineering: C*. 99: 631-656. DOI: 10.1016/j.msec.2019.01.129.

- Hu, X., Wang, Y. & Peng, B. (2014). Chitosan-Capped Mesoporous Silica Nanoparticles as pH-Responsive Nanocarriers for Controlled Drug Release. *Chemistry - An Asian Journal*. 9: 319-327. DOI: 10.1002/asia.201301105.
- Huang, L., Liu, M., Mao, L., Huang, Q., Huang, H., Wan, Q. & Wei, Y. (2017). Surface PEGylation of mesoporous silica materials via surface-initiated chain transfer free radical polymerization: Characterization and controlled drug release. *Materials Science and Engineering: C*. 81: 57-65. DOI: 10.1016/j.msec.2017.07.039.
- Huang, L., Wu, J., Liu, M., Mao, L., Huang, H., Wan, Q. & Wei, Y. (2017). Direct surface grafting of mesoporous silica nanoparticles with phospholipid choline-containing copolymers through chain transfer free radical polymerization and their controlled drug delivery. *Journal of Colloid and Interface Science*. 508: 396-404. DOI: 10.1016/j.jcis.2017.08.071.
- Jermey, R., Ravinayagam, V., Alamoudi, W., Almohazey, D., Elanthikkal, S., Dafalla, H. & Baykal, A. (2020). Tuning pH sensitive chitosan and cisplatin over spinel ferrite/silica nanocomposite for anticancer activity in MCF-7 cell line. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 57: 101711. DOI: 10.1016/j.jddst.2020.101711.
- Karesoja, M., McKee, J., Karjalainen, E., Hietala, S., Bergman, L., Linden, M. & Tenhu, H. (2013). Mesoporous silica particles grafted with poly(ethyleneoxide-block-N-vinylcaprolactam). *Journal of Polymer Science Part A: Polymer Chemistry*. 51: 5012-5020. DOI: 10.1002/pola.26928.
- Li, H., Yu, H., Zhu, C., Hu, J., Du, M., Zhang, F. & Yang, D. (2016). Cisplatin and doxorubicin dual-loaded mesoporous silica nanoparticles for controlled drug delivery. *RSC Advances*. 6: 94160-94169. DOI: 10.1039/C6RA17213J.
- Liu, R., Guo, Y., Odusote, G., Qu, F. & Priestley, R. (2013). Core-Shell Fe₃O₄ Polydopamine Nanoparticles Serve Multipurpose as Drug Carrier, Catalyst Support and Carbon Adsorbent. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 5: 9167-9171. DOI: 10.1021/am402585y.
- Liu, X., Yu, D., Jin, C., Song, X., Cheng, J., Zhao, X. & Zhang, G. (2014). A dual responsive targeted drug delivery system based on smart polymer coated mesoporous silica for laryngeal carcinoma treatment. *New Journal of Chemistry*. 38: 4830-4836. DOI: 10.1039/c4nj00579a.

- Liu, Y., Chen, D., Shang, P. & Yin, D. (2019). A review of magnet systems for targeted drug delivery. *Journal of Controlled Release*. 302: 90-104. DOI: 10.1016/j.jconrel.2019.03.031.
- Matei, C., Buhălteanu, L., Berger, D. & Mitran, R. (2019). Functionalized mesoporous silica as matrix for shape-stabilized phase change materials. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 144: 118699. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118699.
- Morfin-Gutiérrez, A., Meléndez-Ortiz, H., Puente-Urbina, B. & García-Cerda, L. (2018). Synthesis of Poly(N-vinylcaprolactam)-Grafted Magnetite Nanocomposites for Magnetic Hyperthermia. *Journal of Nanomaterials*. 2018: 9562020. DOI:10.1155/2018/9562020.
- Morfin-Gutierrez, A., Sánchez-Orozco, J., García-Cerda, L., Puente-Urbina, B. & Meléndez-Ortiz, H. (2020). Preparation and characterization of nanocomposites based on poly(N-vinylcaprolactam) and magnetic nanoparticles for using as drug delivery system. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 60: 102028. DOI: 10.1016/j.jddst.2020.102028.
- Mu, X., Zhang, F., Kong, C., Zhang, H., Zhang, W., Ge, R. & Jiang, J. (2017). EGFR-targeted delivery of DOX-loaded Fe₃O₄@ polydopamine multifunctional nanocomposites for MRI and antitumor chemo-photothermal therapy. *International Journal of Nanomedicine*. 12: 2899. DOI: 10.2147/ijn.s131418.
- Niculescu, V. (2020). Mesoporous Silica Nanoparticles for Bio-Applications. *Frontiers in Materials*. 7. DOI: 10.3389/fmats.2020.00036.
- Palanikumar, L., Kim, J., Oh, J., Choi, H., Park, M., Kim, C. & Ryu, J. (2018). Hyaluronic Acid-Modified Polymeric Gatekeepers on Biodegradable Mesoporous Silica Nanoparticles for Targeted Cancer Therapy. *ACS Biomaterials Science & Engineering*. 4: 1716-1722. DOI:10.1021/acsbiomaterials.8b00218.
- Peponi, L., Arrieta, M., Mujica-Garcia, A. & López, D. (2017). 6 - Smart Polymers. In C. F. Jasso-Gastinel and J. Kenny (Eds.), *Modification of Polymer Properties* (pp. 131-154). William Andrew Publishing. DOI: 10.1016/B978-0-323-44353-1.00006-3.
- Pham, X., Nguyen, T., Pham, T., Tran, T., & Tran, V. (2016). Synthesis and characterization of chitosan-coated magnetite nanoparticles and their

application in curcumin drug delivery. *Advances in Natural Sciences: Nanoscience and Nanotechnology*. 7: 045010. DOI:10.1088/2043-6262/7/4/045010.

- Pon-On, W., Tithito, T., Maneeprakorn, W., Phenrat, T. & Tang, I. (2019). Investigation of magnetic silica with thermoresponsive chitosan coating for drug controlled release and magnetic hyperthermia application. *Materials Science and Engineering: C*. 97, 23-30. DOI: 10.1016/j.msec.2018.11.076
- Porrang, S., Rahemi, N., Davaran, S., Mahdavi, M. & Hassanzadeh, B. (2021). Synthesis of temperature/pH dual-responsive mesoporous silica nanoparticles by surface modification and radical polymerization for anti-cancer drug delivery. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 623: 126719. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2021.126719.
- Rahoui, N., Jiang, B., Hegazy, M., Taloub, N., Wang, Y., Yu, M. & Huang, Y. (2018). Gold modified polydopamine coated mesoporous silica nano-structures for synergetic chemo-photothermal effect. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 171: 176-185. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2018.07.015.
- Rejeeth, C., Vivek, R. & Kannan, S. (2015). A novel magnetic drug delivery nanocomplex with a cisplatin-conjugated Fe₃O₄ core and a PEG-functionalized mesoporous silica shell for enhancing cancer drug delivery efficiency. *RSC Advances*. 5: 94534-94538. DOI:10.1039/c5ra19274a.
- Rejeeth, C., Vivek, R., NipunBabu, V., Sharma, A., Ding, X. & Qian, K. (2017). Cancer nanomedicine: from PDGF targeted drug delivery. *MedChemComm*. 8: 2055-2059. DOI:10.1039/c7md00391a.
- Rivera-Escobedo, L., Sánchez-Orozco, J., García-Cerda, L., Puente-Urbina, B., García-Uriostegui, L. & Meléndez-Ortiz, H. (2023). Hafnium-doped nano-magnetite/poly(N-vinylcaprolactam) composites for doxorubicin release. *Materials Chemistry and Physics*. 301: 127670. DOI: 10.1016/j.matchemphys.2023.127670.
- Sánchez-Orozco, J., García-Cerda, L., Puente-Urbina, B. & Meléndez-Ortiz, H. (2023). Poly(N-vinylcaprolactam-co-2-(diethylamino)ethylmethacrylate) coated Fe₃O₄@SiO₂ core-shell magnetic nanoparticles for controlled doxorubicin delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 81: 104253. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.104253.

- Sánchez-Orozco, J., Meléndez-Ortiz, H., Puente-Urbina, B., Rodríguez-Fernández, O., Martínez-Luévanos, A. & García-Cerda, L. A. (2023). Synthesis and Characterization of a pH- and Temperature-Sensitive Fe₃O₄-SiO₂-Poly(NVCL-co-MAA) Nanocomposite for Controlled Delivery of Doxorubicin Anticancer Drug. *Polymers*. 15: 968. DOI: 10.3390/polym15040968.
- Shen, B., Ma, Y., Yu, S. & Ji, C. (2016). Smart Multifunctional Magnetic Nanoparticle-Based Drug Delivery System for Cancer Thermo-Chemotherapy and Intracellular Imaging. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 8: 24502-24508. DOI:10.1021/acsami.6b09772.
- Sriraman, S., Aryasomayajula, B. & Torchilin, V. (2014). Barriers to drug delivery in solid tumors. *Tissue Barriers*. 2: e29528. DOI:10.4161/tisb.29528.
- Tian, B., Liu, S., Wu, S., Lu, W., Wang, D., Jin, L. & Quan, Z. (2017). pH-responsive poly (acrylic acid)-gated mesoporous silica and its application in oral colon targeted drug delivery for doxorubicin. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 154: 287-296. DOI: 10.1016/j.colsurfb.2017.03.024.
- Tian, Y., Glogowska, A., Zhong, W., Klonisch, T. & Xing, M. (2013). Polymeric mesoporous silica nanoparticles as a pH-responsive switch to control doxorubicin intracellular delivery. *Journal of Materials Chemistry B*. 1: 5264-5272. DOI:10.1039/c3tb20544d.
- Vallet-Regí, M., Schüth, F., Lozano, D., Colilla, M. & Manzano, M. (2022). Engineering mesoporous silica nanoparticles for drug delivery: where are we after two decades? *Chemical Society Reviews*. 51: 5365-5451. DOI:10.1039/d1cs00659b.
- Wallyn, J., Anton, N. & Vandamme, T. (2019). Synthesis, Principles, and Properties of Magnetite Nanoparticles for In Vivo Imaging Applications-A Review. *Pharmaceutics*. 11: 601. DOI:10.3390/pharmaceutics11110601.
- Wang, G., Dong, J., Yuan, T., Zhang, J., Wang, L. & Wang, H. (2016). Visible Light and pH Responsive Polymer-Coated Mesoporous Silica Nanohybrids for Controlled Release. *Macromolecular Bioscience*. 16: 990-994. DOI:10.1002/mabi.201600008.
- Wang, L., Jang, G., Ban, D. K., Sant, V., Seth, J., Kazmi, S. & Lal, R. (2017). Multifunctional stimuli responsive polymer-gated iron and gold-embedded

silica nano golf balls: Nanoshuttles for targeted on-demand theranostics. *Bone Research*. 5: 17051. DOI:10.1038/boneres.2017.51.

- Wen, H., Guo, J., Chang, B. & Yang, W. (2013). pH-responsive composite microspheres based on magnetic mesoporous silica nanoparticle for drug delivery. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*. 84: 91-98. DOI: 10.1016/j.ejpb.2012.11.019.
- Yadavalli, T., Ramasamy, S., Chandrasekaran, G., Michael, I., Therese, H. A. & Chennakesavulu, R. (2015). Dual responsive PNIPAM–chitosan targeted magnetic nanoparticles for targeted drug delivery. *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*. 380: 315-320. DOI: 10.1016/j.jmmm.2014.09.035.
- Yang, Y., Zhao, B., Li, Z., Lin, W., Zhang, C., Guo, X. & Zhang, L. (2013). pH-sensitive micelles self-assembled from multi-arm star triblock co-polymers poly(ϵ -caprolactone)-b-poly(2-(diethylamino)ethyl methacrylate)-b-poly(poly(ethylene glycol) methyl ether methacrylate) for controlled anticancer drug delivery. *Acta Biomaterialia*. 9: 7679-7690. DOI: 10.1016/j.actbio.2013.05.006.
- Yao, X., Chen, X., He, C., Chen, L. & Chen, X. (2015). Dual pH-responsive mesoporous silica nanoparticles for efficient combination of chemotherapy and photodynamic therapy. *Journal of Materials Chemistry B*. 3: 4707-4714. DOI:10.1039/c5tb00256g.
- Yuan, N., Li, S. & Li, G. (2018). Sodium alginate coated mesoporous silica for dual bio-responsive controlled drug delivery. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*. 46: 348-353. DOI: 10.1016/j.jddst.2018.05.026.
- Zhang, Y., Ang, C. Y., Li, M., Tan, S. Y., Qu, Q., Luo, Z. & Zhao, Y. (2015). Polymer-Coated Hollow Mesoporous Silica Nanoparticles for Triple-Responsive Drug Delivery. *ACS Applied Materials & Interfaces*. 7: 18179-18187. DOI:10.1021/acsami.5b05893.

Electrodeposición de nanopartículas metálicas: una estrategia en contra de la bioincrustación marina

Electrodeposition of metallic nanoparticles: a strategy against marine biofouling

Francisco Martínez-Baltodano, Coraquetzali Magdaleno-López*, y Gregorio Vargas-Gutiérrez*

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo, Av. Industria Metalúrgica No. 1062, Parque Industrial, Ramos Arizpe, Coahuila. México. C.P. 25900.

Correspondencia: coraquetzalli@cinvestav.mx;
gregorio.vargas@cinvestav.edu.mx

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Saltillo.

Correo electrónico: gregorio.vargas@cinvestav.edu.mx.

Resumen

La bioincrustación es un fenómeno indeseable que resulta de la colonización microbiana, de algas e invertebrados en superficies que se encuentran localizadas en ambientes húmedos o en presencia de agua. El problema de la bioincrustación acelera el deterioro de los materiales en ambientes marinos, en el procesamiento de alimentos y en el área médica. Una estrategia para inhibir el establecimiento y la proliferación de micro y macroorganismos en superficies metálicas es inhibir la formación de biopelículas. Los biocidas generalmente se emplean para combatir y tratar los efectos devastadores que resultan de la bioincrustación. No obstante, debido a la alta toxicidad de tales biocidas sintetizados químicamente, se han estado explorando formulaciones nuevas y ecológicas. La erradicación de este problema utilizando técnicas sostenibles y respetuosas con el medio ambiente sigue siendo de vital importancia. La investigación y el desarrollo de una nueva generación de agentes antimicrobianos innovadores y efectivos se han convertido en una necesidad urgente. En esta búsqueda, la comunidad científica se ha centrado en el estudio de nanomateriales, principalmente nanopartículas (NPs) de base metálica como agentes antimicrobianos, para mitigar los problemas de la bioincrustación. El objetivo de esta investigación se centra en el estudio de NPs metálicas como agentes antimicrobianos sobre superficies de acero inoxidable AISI 304. Se hace énfasis específico en la electrodeposición de NPs de plata (Ag) y cobre (Cu). La novedad de esta investigación se basa en la discusión comparativa de los diferentes

tipos de NPs metálicas electrodepositadas sobre superficies de acero inoxidable AISI 304 previamente modificadas, su caracterización fisicoquímica y su capacidad antimicrobiana.

Palabras clave: Electrodeposición, iones metálicos, bioincrustación, biopelículas.

Abstract

Biofouling is an undesirable phenomenon that results from microbial colonization, algae, and invertebrates on surfaces that are in humid environments or in the presence of water. The problem of biofouling accelerates the deterioration of materials in marine environments, in food processing, and in the medical area. A strategy to inhibit the establishment and proliferation of micro and microorganisms on metal surfaces is to inhibit biofouling formation. Biocides are generally used to combat and treat the devastating effects that result from biofouling. However, due to the high toxicity of such chemically synthesized biocides, new and ecological formulations have been explored. The eradication of this problem using sustainable and respectful techniques with the environment remains of vital importance. The research and development of a new generation of innovative and effective antimicrobial agents have become an urgent need. In this search, the scientific community has focused on the study of nanomaterials, mainly metallic nanoparticles (NPS) as antimicrobial agents, to mitigate biofouling problems. The objective of this

research focuses on the study of metallic NPs as antimicrobial agents on AISI 304 stainless steel surfaces. Specific emphasis is placed on the electrodeposition of silver (Ag) and copper (Cu) NPs. The novelty of this research lies in the comparative discussion of different types of electrodeposited metallic NPs on previously modified AISI 304 stainless steel surfaces, their physicochemical characterization, and their antimicrobial capacity.

Keywords: Electroplating, metal ions, biofouling, biofilms.

Introducción

La bioincrustación es un problema que impacta el deterioro de los materiales en los campos médico, marino e industrial causando problemas de salud, de impacto ambiental y pérdidas financieras (Bixler y Bhushan, 2012; Nowicka y col., 2019).

La bioincrustación se puede definir como la formación de una biopelícula sobre una superficie la cual es posteriormente colonizada por micro y macroorganismos conduciendo a su deterioro (Pérez y col., 2022; Debiemme y col., 2018; Omran y Abdel-Salam, 2020). El proceso de bioincrustación comienza con la formación de una biopelícula sobre la superficie de los materiales en presencia de cierta humedad y nutrientes (Calabrese y col., 2022). En la superficie acondicionada tiene lugar el crecimiento y la proliferación de microorganismos, así como la producción de sustancias poliméricas extracelulares compuestas por polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos (Amara y col., 2018).

Los metales y sus aleaciones son susceptibles a la colonización microbiana que provoca la bioincrustación (Bixler y Bhushan, 2012). En la Tabla 1 se indican los sectores, ejemplos de componentes y problemas asociados a la bioincrustación.

Tabla 1. Sectores, ejemplos y problemas asociados al problema de la bioincrustación (Bixler y Bhushan, 2012; Aldhameer, 2020).

Sectores	Ejemplos	Problemas
Marino	Casco de barco	Mayor consumo de combustible
	Motor de barco	Mayor estrés por arrastre adicional
	Plataforma marina	Aumento de la carga/fatiga de la estructura marina
Industrial	Membrana	Flujo reducido
	Intercambiador de calor	Eficiencia de convección reducida
	Flujo de fluido	Perdida por fricción de tuberías
	Agua potable	Microorganismos patógenos en agua potable
	Comida, papel y pintura	Deterioro y riesgo para la salud de los trabajadores.
Médico	Implante ortopédico	Eliminación por infección
	Respirador	Neumonía asociada a ventilador
	Catéter	Infecciones del tracto urinario
	Biosensor	Fracaso por encapsulación fibrosa

	Implante dental	Enfermedad periodontal, gingivitis

Bioincrustación marina. Los océanos son entornos que permiten la creación de vida y la conversión de energía, pero también son entornos extremadamente agresivos. El agua de mar es una mezcla compleja de diversas sales, gases disueltos, oligoelementos, sólidos en suspensión, materia orgánica descompuesta y organismos vivos (Dhanak y Xiros, 2016). En el agua de mar, el comportamiento de los metales y sus aleaciones está relacionado principalmente con su potencial de oxidación, con el contenido de oxígeno, la velocidad de las corrientes, la temperatura, la contaminación, los organismos marinos y la posición de los materiales con respecto al nivel de la marea (Byron, 2020).

La bioincrustación marina implica incrementos en costos de mantenimiento, de vida útil de dispositivos y de infraestructura ubicados en ambientes marinos. El consumo de energía y el costo de mantenimiento de embarcaciones también se ven afectados por el problema de la bioincrustación (Omran y Abdel-Salam, 2020; Vinagre y col., 2022). Por consecuencia, en este sector es necesario optimizar la confiabilidad de los materiales usados mediante el empleo de mecanismos antiincrustantes confiables y duraderos (Trepas y col., 2014), (Loxton y col., 2017).

Las estrategias de mitigación que se han utilizado consideran el uso de pinturas y recubrimientos, empleo de inhibidores de corrosión y biocidas, métodos físicos para

desplazar la biomasa de biopelículas, y el control electroquímico que utiliza campos eléctricos para controlar la formación de las biopelículas (Nowicka y col., 2019).

La aplicación de biocidas puede ser la estrategia más práctica para la mitigación de la bioincrustación. Sin embargo, debido a los efectos sobre organismos marinos de orden superior, la organización marítima internacional ha prohibido su aplicación (Ytreberg y col., 2021). Los métodos físicos, por otro lado, no son adecuados para todas las superficies y esto limita su aplicabilidad.

La investigación y el desarrollo de una nueva generación de agentes antimicrobianos innovadores y efectivos se han convertido en una necesidad urgente. En esta dirección, la comunidad científica se ha centrado en el estudio de nanomateriales, principalmente nanopartículas (NPs) de base metálica (Vimbela y col., 2017). Las propiedades químicas, físicas y biológicas de las NPs se han mejorado en relación con su área específica, distribución de tamaño y morfología (Singh y col., 2020). La síntesis de nanocompuestos con capacidad de controlar la biocorrosión en la superficie del metal pueden permitir una mayor eficiencia de inhibición de la corrosión en forma más rentable y ecológica (Mařátková y col., 2022; Becerra y col., 2020). Diferentes tipos de NPs de base metálica (Ag, Cu,) y no metálica (ZnO, TiO₂, CuO y NiO) han demostrado buena actividad antimicrobiana (Dhanak y Xiros, 2016; Guerrero y col. 2020; Banach y Pulit-Prociak, 2016).

Los aceros inoxidables se utilizan ampliamente por sus propiedades anticorrosivas en diferentes entornos húmedos (Sánchez y col., 2012). Sin embargo, en presencia de agua de mar, los aceros inoxidables son susceptibles a la formación de

biopelículas y, en consecuencia, a la bioincrustación y corrosión inducida microbiológicamente (Little y Lee, 2009).

En el presente trabajo de investigación se realizó un estudio de la implantación de NPs metálicas antimicrobianas en superficies modificadas del acero inoxidable AISI 304, con el fin de desarrollar propiedades antibioincrustantes para su uso en ambientes marinos. La generación de este conocimiento permitirá sentar las bases para cumplir con el objetivo principal de la propuesta de Ciencia de Frontera “Acelerar el diseño y descubrimiento de materiales nuevos y eficientes” que impidan el desarrollo de biopelículas y la degradación de superficies metálicas de estructuras y equipos usados en ambientes marinos.

Materiales y métodos

Preparación del sustrato. Se usaron probetas de acero inoxidable AISI 304, su composición química se muestra en la Tabla 2. A las probetas de acero inoxidable se les aplicó un tratamiento de oxi-nitrocarburation con pastas de cianato y carbonato de sodio a una temperatura de 550 °C durante un tiempo de 20 min (López y Vargas, 2022).

Tabla 2. Composición química porcentual del acero inoxidable AISI 304.

C	S	P	Si	Mn	Mo	Ni	Cr	Fe	Otros
0.02	0.014	0.044	0.25	1.68	1.76	9.56	18.04	68.2	0.432

Proceso de Electrodeposición

Determinación del potencial de reducción. Posterior al tratamiento de oxinitrocarburation, se realizaron pruebas electroquímicas por medio de la técnica de voltamperometría cíclica (VC) para obtener el potencial de electrodeposición de iones de Ag y Cu en un electrolito de etalina ($\text{HOC}_2\text{H}_4\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$). Se utilizó un potenciostato/galvanostato de la marca PARSTAT 4000®, conectado a una celda tradicional de tres electrodos de 30 ml en la cual el electrodo de trabajo fue un disco de acero inoxidable oxiniturado, el contraelectrodo fue de platino y el electrodo de referencia fue de Ag/Ag⁺. Se usó una velocidad de barrido de 10 mV/s, el electrolito se mantuvo a una temperatura de 25 °C sin agitación.

Deposición. Una vez que se obtuvo el valor del potencial de reducción, se procedió a realizar el electrodeposición mediante la técnica de cronoamperometría (CA). La cronoamperometría se realizó a un tiempo de 20 min. Finalizada la electrodeposición se enjuagó la superficie, se secó por convección y se almacenó para las pruebas de caracterización.

Caracterización química y microestructural

Las superficies modificadas fueron caracterizadas mediante un microscopio electrónico de barrido (MEB) de emisión de campo marca PHILIPS, modelo XL30ESEM. Se realizaron mapeos elementales de las especies depositadas de Ag y Cu. Para determinar la química superficial de los depósitos se utilizó la técnica de difracción de rayos X (DRX).

Caracterización de la actividad microbiana

Se evaluó la actividad microbiana de los sustratos con los electrodepuestos de Ag y Cu según la norma ASTM E2562-12 (ASTM E2562-12, 2017). Se utilizaron *Pseudomonas aeruginosa* gramnegativas ATCC 27588 en agar soya tripticaseína (TSA). Posteriormente se cultivó en agitación a 120 rpm por 16 h en medio de caldo de soya tripticaseína (TSB) a una concentración de 300 mg/L sobre cupones limpios de 1 cm de diámetro. Se utilizó un reactor (ISBR600) en el cual se adicionó el inóculo, ajustando un volumen final de 1000 mL con medio TSB a 300 mg/L. Los cupones fueron colocados en el reactor en condiciones “Batch” a 75 rpm a temperatura ambiente. Después de un día el reactor paso a una fase continua haciendo pasar 11 mL de medio TSB por minuto a una concentración de 100 mg/L durante un tiempo de 24 h, además se verificó la fluorescencia de *P. aeruginosa*. Terminado el cultivo en fase continua, se retiraron los cupones y se enjuagaron con solución salina estéril de 0.85% para eliminar las células bacterianas suspendidas. Los cupones fueron colocados en tubo falcón de 15 mL y se adicionó solución salina hasta cubrir el material. Posteriormente se realizó un desprendimiento de las biopelículas con cinco ciclos de Vortex-sonicación por 30 s. La biopelícula suspendida se plaqueó por el método de vertido en placa para determinar las unidades formadoras de colonias (UFC) adheridas a los cupones, vertiendo las diluciones 10^{-3} a 10^{-5} para los cupones con un diámetro de 1.3 cm y las diluciones

10^{-2} a 10^{-4} para los cupones de 1 cm. El conteo de las CFU se realizó usando la ecuación 1.

$$\text{Log}_{10} (\text{CFU}/\text{cm}^2) = \text{Log}_{10} [(X/B)(V/A)(D)]$$

(1)

Donde,

X: Unidad formadora de colonias, CFU

B: Volumen plaqueado, cm^3

V: Volumen raspado, cm^3

A: Área superficial raspada, cm^2

D: Dilución

Resultados y discusión

Determinación del potencial de reducción por VC. Un criterio clave para la selección de un solvente para estudios electroquímicos es la estabilidad electroquímica de dicho solvente (Abbas y Binder, 2010) ya que en dicho intervalo el electrolito es electroquímicamente inerte. En la Figura 1 se observa que la ventana de potencial electroquímico para la etalina ($\text{HOC}_2\text{H}_4\text{N}(\text{CH}_3)_3^+\text{Cl}^-$) se encuentra aproximadamente entre 1.0 y -1.0 mV, lo que implica que la ventana de potencial del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrocarburado es de alrededor de 2.0 V, a una temperatura ambiente de 25 °C y una velocidad de escaneo de 10 mVs^{-1} .

Dicho intervalo corresponde a lo observado para el mismo electrolito por Popescu y col., 2011.

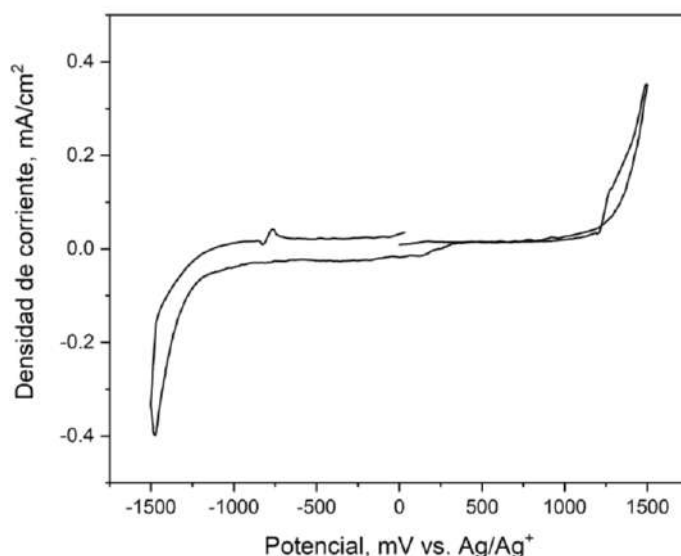


Figura 1. Voltamograma cíclico del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrocarburado por pastas en electrolito de etalina (1 ChCl:2 EG).

En la Figura 2 se presentan los voltamperogramas cíclicos correspondientes a los electrolitos con cobre y con plata obtenidos a una velocidad de escaneo de 10 mVs⁻¹. En esta figura se observan los eventos de reducción del cobre a un potencial de -800.0 mV (Eq. 2) y de la plata a un potencial de -600 mV (Eq. 3).



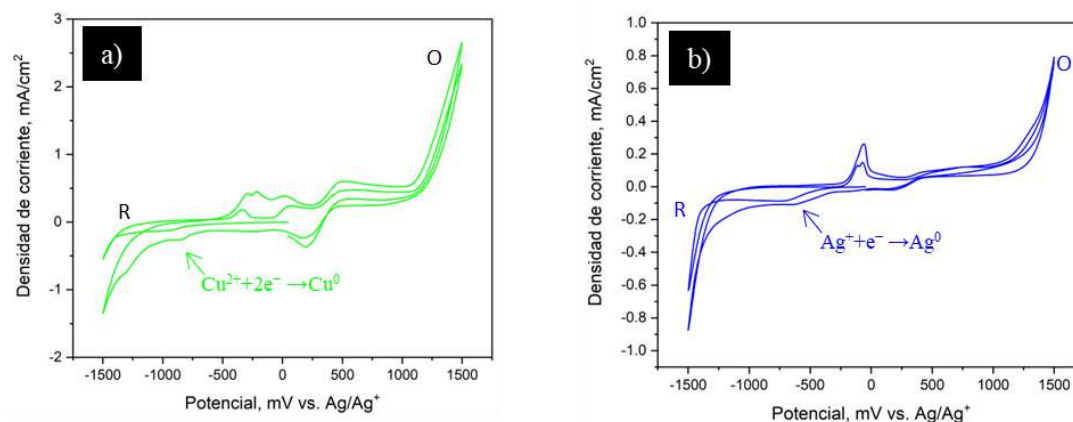


Figura 2. Voltamogramas cíclicos del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrocarburado en electrolito de etalina (1 ChCl:2 EG) con sal precursora de: a) nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10mM; b) nitrato de plata (AgNO_3 10mM

Electrodeposición metálica.

Una vez que se determinó la ventana de potencial y se determinó en que potencial ocurre la reducción de los iones metálicos se realizaron los electrodepositos por cronoamperometría para encontrar el tiempo máximo en el que la densidad de corriente es estable, ya que mediante el control del tiempo es posible fijar la cantidad de material depositado.

En la Figura 3a se observa la curva obtenida por cronoamperometría del acero inoxidable AISI 304 modificado usando el electrolito de etalina con sal de nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10mM. En este caso, el tiempo de estabilización fue de 10 min. En el caso del electrolito formado por etalina con el nitrato de plata (AgNO_3 10mM (Figura 3b) se observa que el tiempo de estabilización fue de 7 min. Estos tiempos

corresponden a los tiempos máximos de deposición, ya que, como se mencionó anteriormente se busca limitar el crecimiento del recubrimiento sobre la superficie.

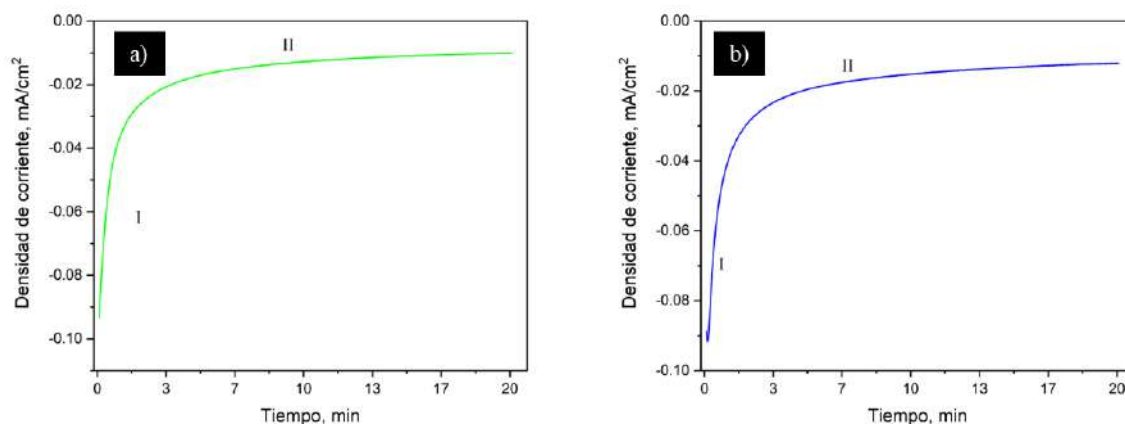


Figura 3. Cronoamperometría del AISI 304 oxi-nitrocarburado en electrolito de etalina (1 ChCl:2 EG) con sal precursora de: a) nitrato de cobre ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ 10mM y potencial de -800 mV; b) nitrato de plata (AgNO_3 10mM y potencial de -600 mV.

Caracterización química y microestructural

La Figura 4a) muestra el mapeo elemental del depósito de cobre, en la cual se puede ver la morfología de las nanopartículas de cobre sobre la superficie del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrurado. Se observa la formación de un depósito disperso y homogéneo y bien distribuido sobre la superficie.

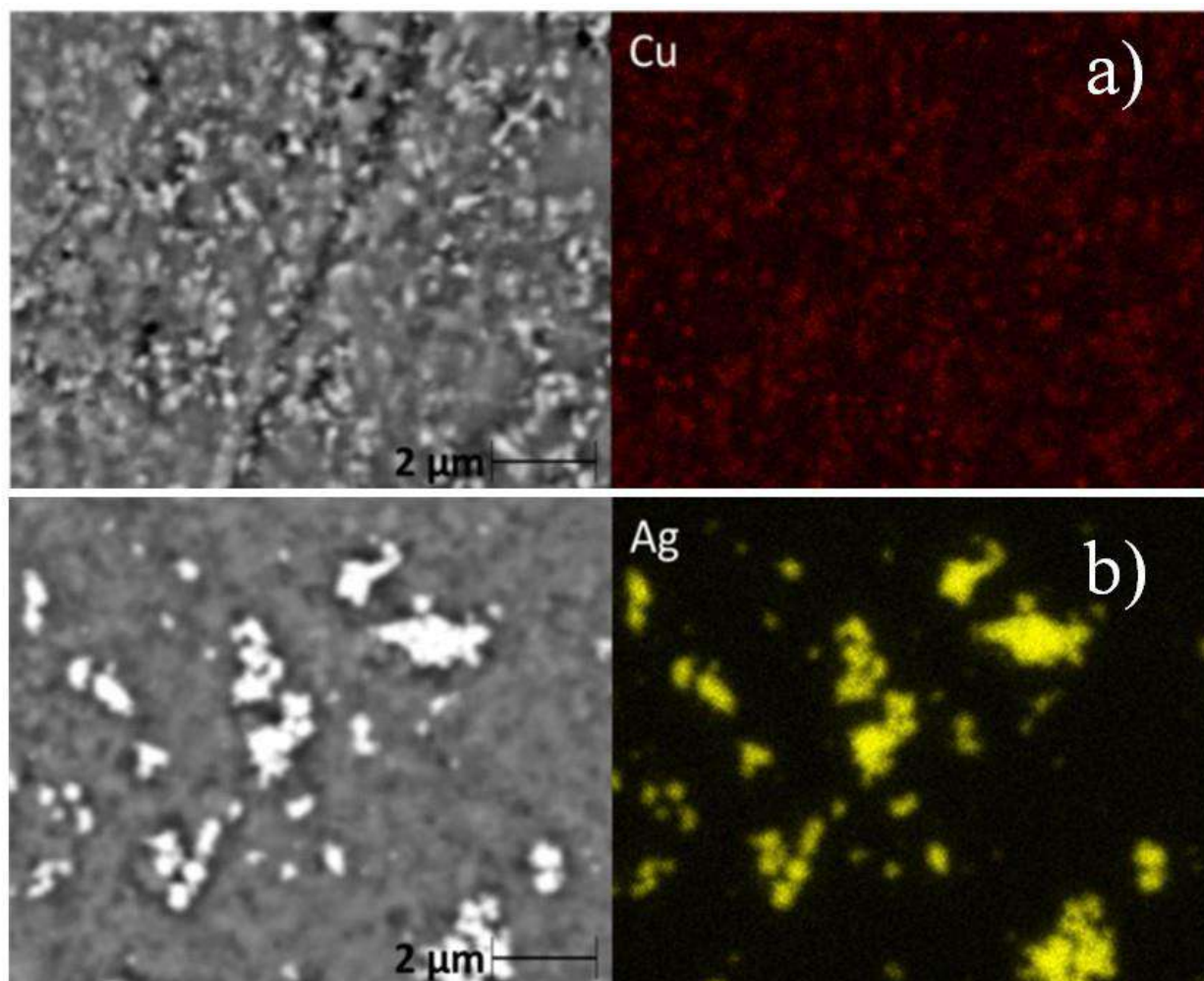


Figura 4. Análisis por mapeo elemental por rayos X del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrocarburado, a) con depósito de Cu por 20 min a un potencial de -800 mV, b) con depósito de Ag por 20 min a un potencial de -600 mV.

Fuente: elaboración propia

La Figura 4b) muestra el mapeo elemental del depósito de plata sobre la superficie del acero inoxidable AISI 304 oxi-nitrurado. El recubrimiento resultante muestra formación de aglomerados, dejando partes del sustrato sin recubrir. Esta formación de aglomeraciones se atribuye al tiempo de electrodeposición, por lo que se buscará reducir el tiempo de depósito para obtener un depósito más homogéneo y disperso (Khodashenas y Ghorbani, 2019).

La Figura 5 muestra los difractogramas de rayos X de la superficie de un acero inoxidable sin tratamiento, del acero inoxidable oxi-nitrocarburado y de la superficie del acero inoxidable oxi-nitrocarburado con depósitos de plata y de cobre.

El análisis confirma la presencia de austenita Fe- γ (FCC) en la superficie del acero sin tratamiento al igual que en la muestra oxi-nitrocarburada. Después del tratamiento de oxi-nitruración, se detectó nitruro de hierro (Fe_4N), magnetita (Fe_3O_4) y austenita expandida $[\gamma\text{N} (111)]$. Esta austenita expandida proporciona elevada resistencia al desgaste y a la corrosión (López y Vargas, 2022). En los patrones de difracción de la superficie de acero inoxidable oxi-nitrocarburada y con el depósito de iones de Ag y Cu se confirmó la presencia adicional de las señales de Ag (111) en 38.1° y Cu (200) en 50.37° , lo que corrobora que si se está realizando el depósito.

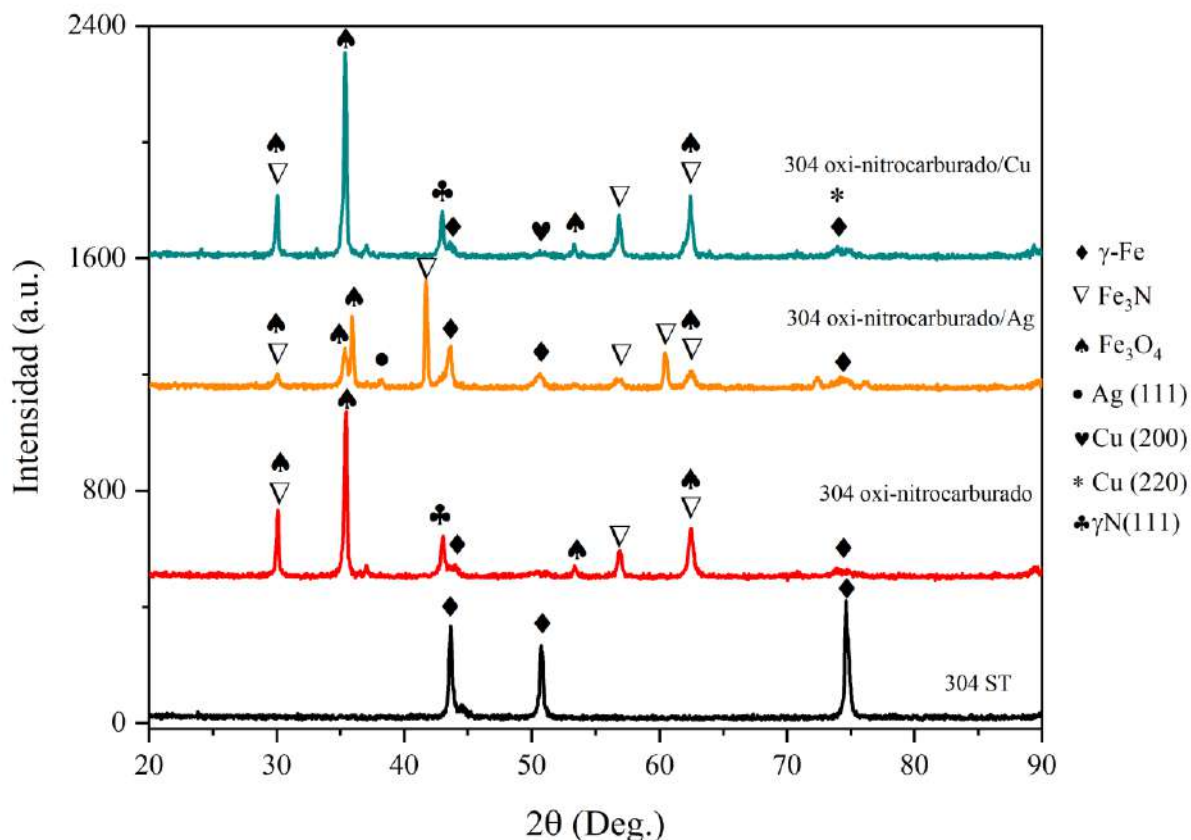


Figura 5. Difractogramas de rayos X del acero inoxidable AISI 304 sin tratamiento y después del tratamiento de oxi-nitrocarburation de los depósitos de plata y cobre.

Fuente: elaboración propia

La rugosidad superficial se refiere a las variaciones en altura con respecto a un plano de referencia (Bhu shan, 2013). En la Figura 6 se muestran los valores de rugosidad media para los diferentes tratamientos estudiados, donde se observa que

la superficie del acero oxi-nitrocarburado con el depósito de plata presenta el mayor valor de rugosidad ($0.316 \pm 0.5 \mu\text{m}$), probablemente esto se atribuya a los aglomerados que se forman en la superficie. Posteriormente le sigue la superficie oxi-nitrocarburada con una rugosidad de $0.279 \pm 0.01 \mu\text{m}$, la superficie con el depósito de cobre con una rugosidad de $0.252 \pm 0.12 \mu\text{m}$ y por último el acero inoxidable sin tratamiento con un valor de rugosidad de $0.220 \pm 0.2 \mu\text{m}$. La rugosidad de la superficie modificada con el tratamiento de oxi-nitrocarburation con respecto al acero inoxidable sin tratamiento se puede atribuir a la alta tasa de carbonización además que probablemente esté asociado con la microsegregación de granos debido a la formación de precipitados. En la figura SEM del acero AISI 304 nitrurado a 580°C con mayor aumento, (consulte la Fig. 4), revela que los precipitados de tamaño micrométrico se encuentran principalmente en los límites de grano y, al mismo tiempo, también están presentes algunos precipitados intragranulares. La geometría y la textura superficial en este tipo de superficies es de gran importancia, ya que gran parte de su capacidad antibacteriana depende de estos parámetros.

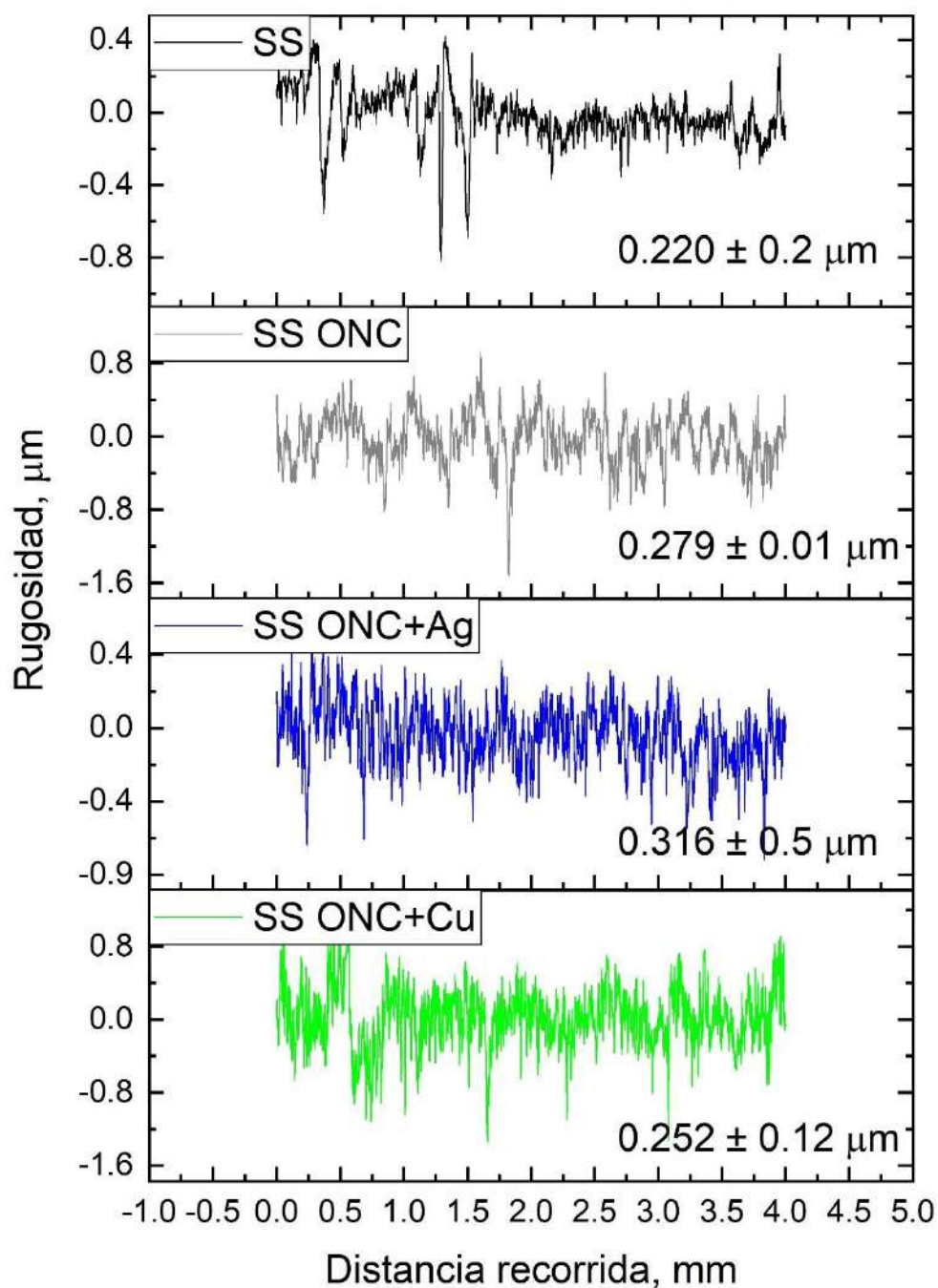


Figura 6. Rugosidad media del acero inoxidable sin tratamiento, oxi-nitrocarburado (ONC)

y ONC más depósitos de Ag y Cu.

Fuente: elaboración propia

Caracterización de la actividad microbiana

Para analizar el efecto antibacteriano de la superficie del acero inoxidable AISI 304, se comparó el conteo de las unidades formadoras de colonias (UFC) de la sepa de *P. aeruginosa* en diferentes superficies tratadas en comparación con la superficie del acero sin tratamiento. En la Figura 7 se observa un conteo de 1.40×10^7 UFC/mL para la muestra de acero inoxidable sin tratamiento, en cuanto a las superficies oxi-nitrocarbурadas se observa un aumento significativo en el conteo esto debido al aumento en la rugosidad de estas superficies, lo que beneficia la adherencia de los microorganismos a esta superficie, esto corresponde con el comportamiento de la rugosidad en ambas superficies, teniendo un aumento significativo en la superficie oxi-nitrocarbурadas. Este resultado muestra que el proceso de oxi-nitrocarbурación no mejoró el desempeño antimicrobiano.

Las superficies con el depósito de plata en un sustrato oxi-nitrocarbурado mostraron un descenso en la actividad antimicrobiana, esto debido a que la plata interfiere en el metabolismo celular ya sea rompiendo la pared celular o causando alteraciones genéticas en la bacteria que llevan a su muerte (Sim y col., 2018). La superficie con depósito de cobre mostró el menor conteo de unidades formadoras de colonias

debido a la generación de especies reactivas de oxígeno que dañan irreversiblemente las membranas de la pared celular (Salah y col. 2021). En las condiciones estudiadas, el recubrimiento del cobre mostró el mejor desempeño antimicrobiano. Esto debido a la dispersión más homogénea y libre de aglomerados que se observaron en las micrografías.

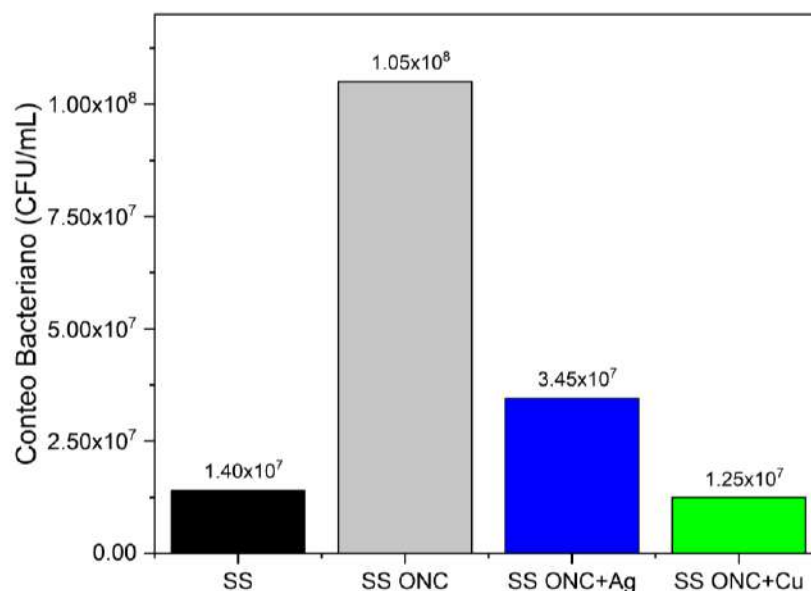


Figura 7. Representación gráfica de la actividad antibacteriana de las superficies de acero inoxidable sin tratamiento, con tratamiento de oxi-nitrocarburação y con tratamiento de oxi-nitrocarburação + electrodeósitos de plata y cobre.

Fuente: elaboración propia

Esta investigación tiene como aportación obtener una superficie con propiedades multifuncionales. Los electrodepósitos en superficies que previamente fueron modificadas y tuvieron una mejoría en la resistencia a la corrosión y el desgaste gracias a la oxi-nitrocarburation, la adición de nanopartículas, las cuales garantizan las propiedades antimicrobianas, lo que sumado a la etapa anterior deja cubierto los tres fenómenos relacionados con la bioincrustación (corrosión electroquímica, desgaste y corrosión inducida microbiológicamente).

Conclusiones

Las superficies con el depósito de Cu resultaron en una morfología dispersa y homogénea, esto se puede confirmar en las micrografías y el mapeo elemental; mientras que en los depósitos de Ag se forman aglomerados, por lo cual es necesario hacer uso de un dispersante catiónico para mejorar la distribución homogénea de las NPs de Ag.

La adición de nanopartículas de plata y cobre redujeron el conteo de unidades formadoras de colonias siendo el cobre el que menor actividad microbiana presentó, esto debido a la dispersión más homogénea y libre de aglomerados que se observaron en las micrografías.

Posteriormente a la evaluación antimicrobiana realizada a nivel laboratorio, se pretende realizar la selección de muestras del acero inoxidable AISI 304 con las NPs depositadas (cupones) con mejor comportamiento, para ser evaluadas en

ambientes marinos y corroborar su eficiencia frente a los micro y macroorganismos presentes en el mar.

Agradecimientos

A CONACYT por su apoyo financiero a través del Proyecto Ciencia Frontera # 2019-845101, “Descubrimiento Acelerado de Materiales Antiincrustantes (DAMA)”.

Referencias bibliográficas

Abbas, Q. & Binder, L. (2010). Synthesis and Characterization of Choline Chloride Based Binary Mixtures. ECS Transactions. **33** (7): 49-59.

Aldhameer, A. (2020). Synthesizing and characterizations of one-dimensional Cu-based antibiofilm surface protective coating. J Nanopart Res. 22: 120. <https://doi.org/10.1007/s11051-020-04870-2>

Amara, I., Miled, W., Slama, R.B., Ladhari, N. (2018). Antifouling processes and toxicity effects of antifouling paints on marine environment. A review. Environ Toxicol Pharmacol. 57: 115-130. doi: 10.1016/j.etap.2017.12.001.

Anjum, M. J., Ali, H., Khan, W. Q., Zhao, J., & Yasin, G. (2020). Metal/metal oxide nanoparticles as corrosion inhibitors. In Corrosion Protection at the Nanoscale (pp. 181–201). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-819359-4.00011-8>

ASTM. (2017). Standard Test Method for Quantification of *Pseudomonas aeruginosa* Biofilm Grown with High Shear and Continuous Flow using CDC Biofilm Reactor (E2562-12).

Banach, M., & Pulit-Prociak, J. (2016). Synthesis, characteristics, and biocidal activity of silver nanoparticles. In *Fabrication and Self-Assembly of Nanobiomaterials: Applications of Nanobiomaterials* (pp. 367–399). Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41533-0.00012-X>

Becerra, J., Ortiz, P., Zaderenko, A. P., & Karapanagiotis, I. (2020) Assessment of nanoparticles/nanocomposites to inhibit micro-algal fouling on limestone façades, *Building Research & Information*. 48 (2): 180-190. 10.1080/09613218.2019.1609233

Bhu shan, B. (2013). *Principles and Applications of Tribology*. (Second Edition). John Wiley & Sons, Ltd. 993 Pp.

Bixler, G. D. & Bhushan, B. (2012). Biofouling: lessons from nature. *Phil. Trans. R. Soc. A*. 370: 2381–2417. <http://doi.org/10.1098/rsta.2011.0502>

Byron, F. (2020). Corrosion Impact of Offshore Platforms, Structures, and Vessels. *Materials Performance*. [Online]. Available online: <https://www.materialsperformance.com/articles/corrosion-basics/2020/12/corrosion-impact-of-offshore-platforms-structures-and-vessels> (accessed on 26 January 2023).

Calabrese, C. La Parola, V. Testa, M. L. & Liotta, L. F. (2022). Antifouling and antimicrobial activity of Ag, Cu and Fe nanoparticles supported on silica and titania. *Inorganica Chimica Acta*. 529: 120636. <https://doi.org/10.1016/j.ica.2021.120636>.

Dhanak, M.R., & Xiros, N.I. (2016). *Springer Handbook of Ocean Engineering*. (First edition). Germany. Springer International Publishing. 1345 Pp.

Guerrero Correa, M., Martínez, F. B., Vidal, C. P., Streitt, C., Escrig, J., & de Dicastillo, C. L. (2020). Antimicrobial metal-based nanoparticles: a review on their synthesis, types and antimicrobial action. *Beilstein journal of nanotechnology*. 11: 1450–1469. <https://doi.org/10.3762/bjnano.11.129>

Khodashenas, B., & Ghorbani, H. R. (2019). Synthesis of silver nanoparticles with different shapes. *Arabian Journal of Chemistry*. 12(8):1823-1838. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.12.014>

Little, B.J. & Lee, J.S. (2009). Microbiologically Influenced Corrosion. In *Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology*. USA. John Willey & Sons, Inc., Wiley Online Library, Hoboken. doi:10.1002/0471238961.micrlitt.a01

López, L., & Vargas, G. (2022). High wear resistance and better pitting corrosion resistance of AISI 316L stainless steel by a self-protective oxy-nitrocarburizing paste. *Journal of Materials Research and Technology*. 16: 1803–1813. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.12.118>

Loxton, J., Macleod, A., Nall, C.R., McCollin, T., Machado, I., Simas, T., Vance, T., Kenny, C., Want, A. & Miller, R. (2017). Setting an agenda for biofouling research for the marine renewable energy industry. *Int J Mar Energy*. 19: 292–303. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2017.08.006>

Maťátková, O., Michailidu, J., Miškovská, A., Kolouchová, I., Masák, J. & Čejková, A. (2022). Antimicrobial properties and applications of metal nanoparticles biosynthesized by green methods, *Biotechnology Advances*. 58: 107905. [10.1016/j.biotechadv.2022.107905](https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107905).

Nowicka-Krawczyk, P., Żelazna-Wieczorek, J., Koziróg, A., Otlewska, A., Katarzyna, R., Piotrowska, M., Gutarowska, B. & Brycki, B. (2019). Multistep approach to control microbial fouling of historic building materials by aerial phototrophs. *Biofouling*. 35(3): 284-298. [10.1080/08927014.2019.1598396](https://doi.org/10.1080/08927014.2019.1598396)

Omran, B.A. & Abdel-Salam, M.O. (2020). The Catastrophic Battle of Biofouling in Oil and Gas Facilities: Impacts, History, Involved Microorganisms, Biocides and Polymer Coatings to Combat Biofouling. In: *A New Era for Microbial Corrosion Mitigation Using Nanotechnology*. Advances in Material Research and Technology. (1st edition). Springer International. 201 Pp. https://doi.org/10.1007/978-3-030-49532-9_2

Pérez, H., Vargas, G. & Silva, R. (2022). Use of Nanotechnology to Mitigate Biofouling in Stainless Steel Devices Used in Food Processing, Healthcare, and Marine Environments. *Toxics*. 10 (1):35. <https://doi.org/10.3390/toxics10010035>

Popescu, A.M., Constantin, V., Cojocaru, A., & Olteanu, M. (2011). Electrochemical Behaviour of Copper (II) Chloride in Choline Chloride-urea Deep Eutectic Solvent. *Rev. Chim.* 62 (2): 206-211.

Salah, I., Parkin, I.P. & Allan, E. (2021). Copper as an antimicrobial agent: recent advances. *RSC Advances*, 11(30), 18179-18186.

Sánchez, M., Mahmoud, H. & Alonso, C. (2012). Electrochemical response of natural and induced passivation of high strength duplex stainless steels in alkaline media. *J Solid State Electrochem.* 16: 1193–1202. [10.1007/s10008-011-1498-1](https://doi.org/10.1007/s10008-011-1498-1)

Sim, W., Barnard R.T., Blaskovich M.A.T., & Ziora, Z.M. (2018). Antimicrobial Silver in Medicinal and Consumer Applications: A Patent Review of the Past Decade (2007-2017). *Antibiotics (Basel)*. 7(4): 93. [10.3390/antibiotics7040093](https://doi.org/10.3390/antibiotics7040093).

Singh, A., Gautam, P. K., Verma, A., Singh, V., Shivapriya, P. M., Shivalkar, S. & Samanta, S. K. (2020). Green synthesis of metallic nanoparticles as effective alternatives to treat antibiotics resistant bacterial infections: A review. *Biotechnology Reports*. 25, e00427. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00427>

Trepos, R., Pinori, E., Jonsson, P., Berglin, M., Svenson, J. & Coutinho, R. (2014). Innovative approaches for the development of new copper-free marine antifouling paints. *J Ship Ocean Technol.* 9:7–18.

Vimbela, G. V., Ngo, S. M., Frazee, C., Yang, L., & Stout, D. A. (2017). Antibacterial properties and toxicity from metallic nanomaterials. *International journal of nanomedicine.* 12: 3941–3965. <https://doi.org/10.2147/IJN.S134526>

Vinagre, P. A., Lindén, J. B., Mardaras, E., Pinori, E., & J. Svenson. (2022). Probing the correlation between corrosion resistance and biofouling of thermally sprayed metallic substrata in the field. *Biofouling.* 38 (2): 147-161. [10.1080/08927014.2022.2033736](https://doi.org/10.1080/08927014.2022.2033736)

Ytreberg, E., Lagerström, M., Nöu, S., & Wiklund A. E. (2021). Environmental risk assessment of using antifouling paints on pleasure crafts in European Union waters, *Journal of Environmental Management.* 281, 111846. doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111846.

**“Determinar la influencia de las competencias desarrolladas
en el nivel educativo superior frente a la empleabilidad actual
en egresados”**

“Determine the influence of developed skills in the higher educational
level opposite the current employability with graduates”

David Ezael Robles Quintanilla

Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos”
Universidad Autónoma de Coahuila

Blvd. Adolfo López Mateos SN,
Colonia Independencia CP. 26830
Nueva Rosita, Coahuila, México
Correo: drobles@uadec.edu.mx
Celular: 861 108 8387

Resumen.

Es importante investigar sobre el proceso de inclusión de un profesionista recién egresado en el ámbito laboral, dado que migra directamente de egresado al indicador estadístico del desempleo y colateralmente al crecimiento económico, de acuerdo al nivel de éxito/fracaso obtenido en este proceso; con el objetivo de analizar la influencia que objeta el desarrollo de habilidades genéricas/blandas obtenidas en la formación profesional como factores para la obtención del primer empleo, es necesario determinar la influencia de las competencias desarrolladas en el nivel educativo superior frente a la empleabilidad actual de la propia voz del egresado que ya mantiene una relación laboral.

Se desarrolló dicha investigación con la generación de egresados 2019, de la Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos”, con un alcance de estudio descriptivo con carácter cuantitativo, sobre las generalidades y caracterización explícita de la población objetivo y su relación entre las variables del fenómeno de estudio.

Dentro de los hallazgos principales, se logró determinar la influencia y la importancia de las competencias genéricas y funcionales desarrolladas en los alumnos durante su proceso de estudio, para lograr una empleabilidad subsecuente, dicho estudio refleja una correlación positiva al alcanzar un alto grado de pertinencia entre la formación de las habilidades y la valoración de las mismas para la adquisición del primer empleo, con especial énfasis las habilidades blandas desarrolladas. En el primer lugar se ubica la negociación, en 2°, liderazgo y trabajo en equipo, en 3°, la toma de decisiones y la comunicación verbal, en 4° y 5° lugar, la habilidad de redacción y el hablar varios idiomas.

Dicho escenario permite identificar el enfoque en el ejercicio docente, así como bases para una actualización curricular y desarrollar un vínculo fuerte educativo-formativo entre la universidad y las empresas, capaz de proveer profesionistas preparados para las necesidades productivas del siglo XXI.

Palabras Claves: Habilidades, Competencias, Educación Superior, Empleabilidad, Egresados, Universidad, Empresas.

Abstract

It is important to investigate the process of inclusion of recently graduated professionals in search for a working environment, given that it migrates right from newly graduated to the statistical indicator of unemployment and collaterally to economic growth, according to the level of success/fail obtained in this process; to analyze the influence that objects to generic /soft skills development obtaining of the first job, is necessary “Determine the influence of developed skills in the higher educational level opposite the current employability” from the newly graduated own voice, at the moment maintains an employment relationship.

Such research was developed with university graduates in 2019 from Escuela Superior de Ingeniería “Lic. Adolfo López Mateos”, with a range a descriptive study with quantitative character of the generalities and explicit characterization from the objective population and its relationship among phenomenon or study variables.

In the main findings, it was possible to determine the influence and the importance of generic and practical competencies developed in students during their study to achieve subsequent employability. The study reflects a positive correlation to reach a higher level of relevance between the formation of abilities and their valuation for acquiring the first job, with particular emphasis on the developed soft skills. First is negotiation, second leadership, and teamwork, third decision making and verbal communication and fourth and fifth place writing skill and speaking several languages.

This scenario allows us to identify the teaching approach just like the bases for curricular actualization and develop a solid educative–formative bond between the

university and companies capable of providing professionals ready for the productive needs of the XXI century.

Keywords: Abilities, Competences, Higher education, Employability, Graduates, University, Companies.

Introducción

La educación en el mundo ha mantenido una importancia sustancial en la construcción de sociedades, desarrollo cultural, avances tecnológicos, y con un fuerte impacto en el sector económico, permitiendo que las naciones consideren la educación como un sistema vital para la construcción de una ciudadanía con perspectiva global, cuya principal característica en las sociedades modernas, es el acceso a la información.

En esta perspectiva global, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se ha cuestionado sobre la forma de enfrentar los retos y desafíos en materia socioeconómica de los países, incluyendo los aspectos educativos, donde enfoca sus esfuerzos en estimular a los pueblos y sus ciudadanos, sobre la identificación y desarrollo de las aptitudes necesarias para la vida de las comunidades, que impacten en el desarrollo económico de las entidades.

La Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura (UNESCO), a través del marco de La Educación y la Formación Técnica y Profesional (EFTP) y en sinergia con la OCDE, busca reducir la brecha entre educación y empleo, estimulando el desarrollo de competencias técnicas y profesionales para el trabajo y para la vida, que permitan impactar en una mejor preparación de los ciudadanos para el bienestar sociocultural y económico.

Los jóvenes en el culmen de sus estudios universitarios, se ven detenidos en una encrucijada para tomar decisiones en la directriz de su campo laboral; dejando atrás el desarrollo de conocimientos para aplicarlos en un futuro productivo, pero se enfrentan ante la incertidumbre donde el mercado laboral, dispone de una serie de necesidades, de las

cuales las y los estudiantes en ocasiones no se sienten preparados para el desarrollo de dichas actividades, confrontando las habilidades cognitivas desarrolladas en este proceso de estudio, contra las necesidades funcionales apreciadas al contratar los recursos humanos de los empleadores.

Por lo que es importante resaltar como las habilidades genéricas y funcionales en el desarrollo integral del estudiante para reducir *gap* de los conocimientos y habilidades en el estudio profesional superior vs. las competencias necesarias en el ámbito laboral actual; así mismo se busca identificar las competencias genéricas con mayor valor de acuerdo a la pertinencia y aplicabilidad en los nuevos entornos que la realidad productiva demanda, y que a su vez influye en el incremento del nivel de empleabilidad, todo ello en base a la voz expresa de los mismos egresados.

La presente investigación profundiza en el nivel educativo superior, dado que es el último peldaño previo a la vida laboral profesional, para discernir sobre las competencias y herramientas con que los egresados y egresadas enfrentan al reto de la empleabilidad; teniendo un discernimiento de este fenómeno, se podrá mejorar los sistemas educativos actuales en pro de mejores condiciones de vida, así mismo permitirá un enfoque a las competencias preponderantes en el perfil del egresado de la universidad a la hora de adquirir un empleo en el ámbito laboral, de tal forma que permite vislumbrar una secuencia de sucesos importantes en la cadena de valor del egresado, como lo define la OCDE en el 2013 donde dicta, “Mejores competencias, mejores empleos, mejores condiciones de vida”.

Antecedentes.

Desde una perspectiva de las competencias, enfocándose en la importancia de una vinculación fortalecida entre la educación superior y el ámbito empresarial, “Se requiere que las Universidades e Instituciones de Educación Superior (IES), sean instituciones críticas y de pertinencia integral en su relación Universidad-Empresa-Sociedad, capaces de

responder a los retos de la sociedad del conocimiento y a los nuevos desafíos del presente siglo” (Rodríguez, 2007).

González y González (2008), citan a Corominas 2001, respecto de la definición de las competencias:

“La preparación profesional abarca, tanto la formación o entrenamiento en competencias específicas de la profesión, es decir, saberes y técnicas propias de un ámbito profesional (por ejemplo: interpretar un gráfico de temperaturas y lluvias, calcular la resistencia de un forjado, evaluar los conocimientos adquiridos por un alumno, gestionar créditos a clientes etc.), como el entrenamiento en competencias genéricas comunes a muchas profesiones (por ejemplo: gestión de la información, adaptación a los cambios, disposición hacia la calidad, etc.). Las competencias específicas están más centradas en el «saber profesional», el «saber hacer» y el «saber guiar» el hacer de otras personas; mientras que las competencias genéricas se sitúan en el «saber estar» y el «saber ser». Son transferibles en el sentido de que sirven en diferentes ámbitos profesionales” (Corominas, 2001, p. 307).

Lombana y Muñoz (2017). Consideran en su investigación el escenario en nivel superior con la identificación del fenómeno de estudio en un contexto específico.

“Las realidades de empleabilidad difieren por regiones, no en vano el Foro Económico Mundial (2014) la coloca entre sus mayores preocupaciones: “muchos graduados recientes están descubriendo que a pesar de sus calificaciones académicas a menudo a expensas significativas- carecen de las habilidades técnicas y profesionales específicas que demanda el siempre cambiante mercado laboral” (p. 36).

A ejemplo de los países Europeos, donde enfocan sus esfuerzos en analizar la realidad de los egresados frente a la empleabilidad, en México dicha influencia permeará con mayor interés en medida de los logros e investigaciones de este rubro.

“Finalmente, está el incremento de egresados de la educación superior que empieza a exceder la capacidad de absorción del mercado laboral y que también se observa en otros países de la OCDE (Pavlin y Svetlik, 2014). Estas disparidades entre políticas y resultados ponen a países desarrollados a repensar la coherencia entre el mercado laboral y las decisiones de política (en el caso de Europa, de la declaración de Bologna) y, como menciona Leoni (2014), queda el cuestionamiento de si se remunera por la educación formal, por las competencias o por la combinación de ellas" (Lombana,y Muñoz, 2017).

Como nos los expresa en el resumen ejecutivo “ La educación superior en México, resultados y relevancia para el mercado laboral” en el 2019, donde indica:

La educación superior contribuye al crecimiento inclusivo mediante el fortalecimiento de la formación de capital humano, la I+D y la innovación. Uno de los principales objetivos de la educación superior es aportar egresados con las competencias necesarias para lograr el éxito en el mercado laboral. Esto es especialmente importante en las actuales economías globalizadas impulsadas por la innovación y basadas en las competencias, y concuerda bien con las expectativas de los estudiantes de hallar un empleo adecuado al finalizar sus estudios.(OECD, 2019)

Por lo que se vuelve necesario investigar la realidad de las universidades en México y su impacto directo en el entorno productivo, como un vínculo cohesionado y que en sinergia con las empresas buscan los recursos humanos capaces de lograr las soluciones productivas del siglo XXI.

Materiales y métodos

Se realizó un estudio definiendo la población objetivo, con los egresados y egresadas de la carrera de Ingeniero Geólogo e Ingeniero en Recursos Minerales y Energéticos, de la

generación del año 2019, para mantener 2 años del término de la formación académica del nivel superior y la adquisición del primer empleo.

Se desarrolló una investigación de enfoque del tipo cuantitativo dado la naturaleza del tema de estudio, se permitieron contestar preguntas y establecer una escala numérica en relación a las respuestas seleccionadas de acuerdo a la escala de Likert, para medir el grado de impacto detectado en el encuestado; así mismo el alcance de la investigación en el estudio descriptivo, por las generalidades y caracterización explícita por la población objetivo, y su relación entre las variables en fenómeno de estudio de la presente investigación.

La actual investigación se aplica en la categoría de tipo de no experimental-transeccional, dado que las variables de estudio no se manipularon y la información se recolectó, en un solo momento, con el propósito de describir las variables y analizar la interrelación entre las competencias adquiridas en el nivel superior que son valoradas en el momento de adquirir un empleo.

La información fue recabada por medios digitales, se concentró la información de todas las respuestas por medio de una hoja de cálculo, codificando el valor numérico de cada opción de respuesta, estableciendo el análisis estadístico en 2 segmentos datos de estudios realizados, y datos de la función laboral, y en ambas partes se dispuso en análisis estadístico empleando el software SPSS para Windows versión 21, para la realización de los cálculos pertinentes para determinar la confiabilidad a través del alpha de Cronbach, las medidas de tendencia central media, mediana, y para la graficación respectiva de los reactivos empleados en cada apartado del instrumento.

El alfa de Cronbach calculado, otorgó como resultado 0.968 lo que da como resultado una confiabilidad alta en los resultados obtenidos (George y Mallery, 2003 en Frías, 2022)

Resultados

Concentrados los datos, en base a las encuestas aplicadas con la población del 50% de egresados, se calcularon las medidas de tendencia central, como soporte al análisis de los

datos recabados de una población de 20 encuestados; La media, mediana, aparecen en los resultados de cada reactivo aportando un valor en escala ordinal 1-5, de acuerdo a las opciones totalmente en desacuerdo, en desacuerdo, neutral, de acuerdo, totalmente de acuerdo, en cada uno de los reactivos según la escala de Likert. En la Tabla 1 se muestran los datos con del cálculo.

Tabla 1. *Medidas de tendencia central a criterios formativos relevantes.*

Reactivos	N		Media	Mediana
	Encuestado	Perdido		
	s			
Formación Teórica	20	0	3.60	4.00
Formación Práctica	20	0	3.10	3.00
Aplicabilidad en el Entorno Productivo	20	0	3.05	3.00
Los Profesores Mostraron Dominio de sus Materias	20	0	3.75	4.00
Los Profesores Mostraron Técnicas de Enseñanza	20	0	3.55	4.00
Las Habilidades de Desarrollo Humano fueron pertinentes	20	0	3.95	4.00
El Trabajo en equipo es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	4.20	5.00
La Negociación es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	4.35	5.00
La Toma de Decisiones es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	4.15	5.00
El Liderazgo es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	4.20	5.00
La Comunicación verbal es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	4.15	5.00
La Comunicación Escrita es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	3.90	4.00
Hablar Idiomas es una Habilidad Relevante en el campo laboral	20	0	3.80	4.00
Las Habilidades de Desarrollo Humano, son diferenciadoras en el proceso de adquirir empleo	20	0	3.95	5.00

Se resalta de la opinión de la muestra, aspectos como la aprobación de la formación teórico-práctico, el dominio de los conocimientos en la materia y las habilidades de

enseñanza demostradas en el aula. También se reconoce que posee una aplicabilidad en el entorno productivo, mientras que las habilidades de desarrollo humano motivadas en la vida universitaria, manifiestan una alta aceptación y aplicabilidad en la base productiva, indistintamente del lugar de trabajo.

Se presentan Tablas 2-5 donde se expresa información de los aspectos claves de la medición que intervienen en el fenómeno.

Tabla 2. Cuadro comparativo de frecuencias de la formación teórico-práctico.

Reactivos	Totalmente Desacuerdo		En Desacuerdo		Neutral		De Acuerdo		Totalmente de Acuerdo	
Formación Teórica	3	15%	0	0%	2	10%	12	60%	3	15%
Formación Práctica	1	5%	5	25%	6	30%	7	35%	1	5%
Las Habilidades de Desarrollo Humano fueron pertinentes en la universidad	2	10%	0	0%	1	5%	11	55%	6	30%
Aplicabilidad en el Entorno Productivo	2	10%	2	10%	10	50%	5	25%	1	5%

Se destaca principalmente que las habilidades de desarrollo humano fueron adecuadas según el 85% de los participantes, en un grado de acuerdo el 75% refirió satisfacción respecto de la formación Teórica, mientras que de la formación práctica el 40% como suma de las opciones de acuerdo y totalmente de acuerdo, en la aplicabilidad de la formación universitaria en el entorno productivo, manifiesta el 20% un grado de desacuerdo, 50% neutral, y un 30% expresa un grado de satisfacción.

Tabla 3. Cuadro comparativo de frecuencias de las habilidades de desarrollo humano.

Las Habilidades de Desarrollo Humano	Totalmente Desacuerdo		En Desacuerdo		Neutral		De Acuerdo		Totalmente de Acuerdo	
Fueron pertinentes en la universidad	2	10%	0	0%	1	5%	1	55%	6	30%
Son diferenciadoras en el proceso de adquirir empleo	3	15%	0	0%	3	15%	3	15%	11	55%

En el cuadro comparativo de frecuencias de las habilidades de desarrollo humano (Tabla 3), el 85% manifestaron acuerdo en que dichas habilidades fueron pertinentes dentro de la formación, mientras que el 70% opina que fueron diferenciadoras en el proceso de adquirir empleo.

Respecto de las habilidades relevantes en el campo laboral destaca el liderazgo con un 70% totalmente de acuerdo, el trabajo en equipo y toma de decisiones se mantienen en segundo lugar con un 65%, y finalmente un 35% de total acuerdo en la habilidad relacionada con la expresión verbal de otro idioma (Tabla 4).

Tabla 4. Cuadro comparativo de frecuencias de las habilidades relevantes en el campo laboral.

Habilidad Relevante en el campo laboral	Totalmente Desacuerdo		En Desacuerdo		Neutral		De Acuerdo		Totalmente de Acuerdo	
El Liderazgo	3	15%			1	5%	2	10%	14	70%
El Trabajo en equipo	3	15%					4	20%	13	65%
La Toma de Decisiones	3	15%			1	5%	3	15%	13	65%
La Comunicación verbal	3	15%					5	25%	12	60%
La Negociación			2	10%			7	35%	11	55%
La Comunicación Escrita	2	10%	1	5%	2	10%	7	35%	8	40%
Hablar Idiomas	2	10%	1	5%	3	15%	7	35%	7	35%

Con el reactivo que evalúa la relación entre el área de trabajo actual y sus estudios de la licenciatura, respondieron un 30% que mantienen una alta relación, 30% media relación, 25% escasa relación, y 15 % inexistente (Tabla 5).

Tabla 5. Cuadro comparativo de frecuencias de las habilidades relevantes en el campo laboral.

La relación entre su trabajo y sus estudios de licenciatura es...	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje e Valido	Porcentaje Acumulado
Inexistente	3	15.0	15.0	15.0
Escasa	5	25.0	25.0	40.0
Media	6	30.0	30.0	70.0
Alta	6	30.0	30.0	100.0
Total	20	100.0	100.0	

En la Figura 1, se contrastan los criterios claves de la formación, destaca la media de las calificaciones que fueron asignadas en cada uno de estos reactivos; destaca que las habilidades actitudinales desarrolladas en la universidad mantienen un primer lugar con una media de 3.95 en la escala 1-5, los criterios teóricos mantienen una media de 3.6, en los aspectos prácticos se obtuvo un 3.1, el conjunto de estos 3 elementos están identificados como el resultado de los procesos formativos, en contraste con el último indicador expresando un 3.05 en la aplicabilidad en el campo laboral.

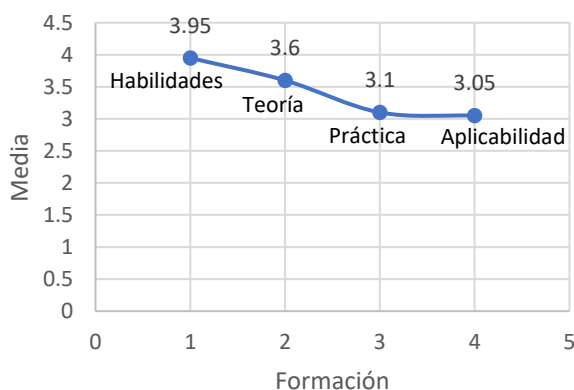


Figura 1. Formación universitaria vs. Aplicabilidad en el campo laboral.

En la Figura 2, se contrastan dos gráficos con las medias de las habilidades de desarrollo humano a través de un gráfico de líneas y radial, con el afán de discernir cuál de las habilidades tiene una mayor valoración por los egresados a la hora de adquirir un empleo.

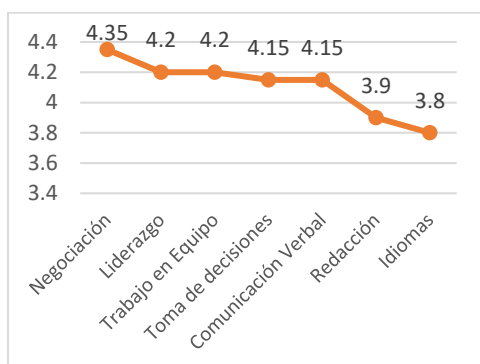


Figura 2. Habilidades de desarrollo humano.

En una escala ordinal, la negociación tiene el primer lugar con una media de 4.35 en la escala 1-5, liderazgo y trabajo en equipo poseen un segundo lugar con un valor de 4.2, Toma de decisiones y la comunicación verbal con un valor de 4.15, y

en los últimos lugares la habilidad de redacción y el hablar varios idiomas con un 3.9 y 3.8, respectivamente.

Por último, para tener una interpretación exacta sobre las habilidades de desarrollo humano promovidas en la universidad, se correlaciona con las habilidades como un factor diferenciador en proceso de adquisición de un empleo, por lo que se aplicó una correlación de Pearson.

Dicho resultado se expresa con correlación positiva con un factor de **0.749** con un nivel de significación de .000, entre ítem que dicta sobre “las habilidades de desarrollo humano pertinentes en la universidad”, y el ítem “las habilidades de desarrollo humano, son diferenciadoras para adquirir empleo”; con este resultado origina una correlación fuerte entre ambas variables, por lo que los y las encuestadas que manifiestan la aprobación en una variable, lo reflejan en la variable comparativa, permitiendo interpretar que las habilidades desarrolladas en la universidad son de influencia para adquirir empleo, así como los encuestados que manifestaron que las habilidades no fueron pertinentes también expresan que es inexistente la influencia en la adquisición de empleo, manteniendo una correlación fuerte.

Discusión.

El presente estudio con enfoque directo en el egresado, compara la influencia de las habilidades genéricas desarrolladas en el proceso educativo de la universidad, como factor favorecedor para la adquisición de su primer empleo, revisado en un período de 2 años posteriores al egreso; desde el campo laboral el egresado expuso su percepción frente a esta contrastación; considerándose únicamente su perspectiva como participante directo, no involucrando otros agentes del proceso.

Por lo que el estudio tiene un alcance limitado, expresado en la generación de estudiantes, y/o la modificación de las preferencias en el entorno laboral en períodos posteriores, no contempla la influencia que los fenómenos globales como la pandemia. Pero que sí apoyan al reconocimiento del fenómeno, su comportamiento y sugiere una línea propositiva en el seguimiento al estudio.

Sería falso interpretar que las habilidades evaluadas con menor calificación y/o recurrencia no sean importantes, lo que realmente indica desde el punto de vista del sujeto de estudio considera, para los perfiles de egreso de los planes de estudio de la Escuela Superior de Ingeniería, simplemente estas habilidades en el entorno productivo, son de menor aplicación.

Conclusiones.

Las habilidades estructurales o genéricas, que el ser humano desarrolla inherentes del proceso educativo-formativo, y la influencia como estas aportan características diferenciadoras a la hora de adquirir un empleo, estas habilidades actitudinales desarrolladas en la universidad mantienen un nivel de apreciación importante, dichas habilidades poseen un mayor nivel de satisfacción y con mayor relevancia, incluso por sobre los aspectos teóricos y de práctica profesional experimentados, por lo que incluso con ello sugiere que el nivel de prácticas de campo al ser incrementadas dentro de los programas de estudio, crear escenarios para desarrollar cada vez más habilidades aplicativas de los conocimientos de la carrera, en los que el estudiante mantiene una percepción positiva.

Las habilidades con mayor valoración según los encuestados y en el primer lugar ubica la negociación, en segundo lugar, liderazgo y trabajo en equipo, en tercer lugar, la toma de decisiones y la comunicación verbal y en el 4° y 5° lugar, la habilidad de redacción y el hablar varios idiomas respectivamente, avalado por los resultados de la encuesta manteniendo un rango de aprobación entre el 70% y el

90%, en cada uno de los reactivos. Lo que muestra una gran aceptación en desarrollar estas habilidades desde el proceso formativo en concordancia con el contexto laboral activo; así mismo refleja el alto grado de utilización en el entorno productivo, con lo que posee una pertinencia positiva, dado que mantienen una fuerte interacción socio-productiva en la función laboral cotidiana.

Así mismo, se valoran los criterios de 2 variables que dicta sobre “las habilidades de desarrollo humano pertinentes en la universidad”, y “las habilidades de desarrollo humano, son diferenciadoras para adquirir empleo”; sometidas al análisis de correlación de Pearson, generando como resultado una correlación positiva y fuerte. Lo que permiten dictaminar que las habilidades de desarrollo humano comprueban la hipótesis planteada sobre la adquisición de habilidades genéricas, destacan como un agente relevante en el proceso de formación y como un factor detonante en la adquisición de empleo al ser desarrolladas en la universidad y ser demandadas en el entorno laboral.

Implícitamente los hallazgos aquí manifestados, permiten a la Escuela Superior de Ingeniería, tener un punto de referencia en el futuro, con evaluaciones de generaciones de egresados, para mantener una continuidad en la medición de los indicadores de satisfacción, y por ello garantizar la mejora continua de la oferta académica en educación superior.

Referencias

- Delors, J. (2013). Los 4 pilares de la educación. *Galileo*, 23: 103-110.
- Frías-Navarro, D. (2022). *Apuntes de estimación de fiabilidad de consistencia interna de los ítems de un instrumento de medida..pp 1-22*. Universidad de Valencia, España. <https://docplayer.es/22648856-Apuntes-de-spss-dolores-frias-navarro-universidad-de-valencia-2014.html>
- González, V., & Gonzalez, R. (2008). Competencias Genéricas y Formación Profesional: Un análisis desde la docencia Universitaria. *Revista*

Iberoamericana de Educación, 47: 185-209.
<https://doi.org/10.35362/rie470710>

Hernandez, & Espinoza. (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 37(5): 594.

Lombana, J., & Muñoz, S. (2017). Competitividad, educación y empleabilidad: consideraciones para el desarrollo de los países. *Clío America*, 11: 169-172.
<https://doi.org/10.21676/23897848.2437>

OCDE. (2013). *Mejores competencias, mejores empleos, mejores condiciones de vida, un enfoque estratégico de las políticas de competencias*. México: Santillana.

Ocegueda, M. M. (2014). La educación superior en México: Un estudio comparativo. *Ciencia Ergo Sum*, 21(3): 181-192.

OECD. (2019). *La Educación Superior en México, resultados y relevancia para el mercado laboral*. Paris: OECD Publishing.
<https://doi.org/10.1787/a93ed2b7-es>.

Quero, M. (2010). Confiabilidad y coeficiente Alpha de Cronbach. *Telos*, 12(2): 248-252.

Rodríguez Zambrano, H. (2007). El paradigma de las competencias hacia la educación superior. *Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión*, 15(1): 145-165.

UNESCO. (18 de 03 de 2023). *Educación y formación técnica y profesional (EFTP)*. UNESCO: <https://es.unesco.org/EFTP-ALC>

Celdas de Combustible: componentes, operación y aplicaciones

Fuel Cells: components, operation and applications

Gonzalo Martínez-Barrera ^a, Miguel Martínez-López ^{b*}, Antonio Téllez-López ^b

^a Universidad Autónoma del Estado de México, Facultad de Química, Laboratorio de Investigación y Desarrollo de Materiales Avanzados (LIDMA), Km. 12 de la carretera Toluca-Atlacomulco, San Cayetano 50200, Toluca, Estado de México, México.

^b Universidad Politécnica del Valle de Toluca, División de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Energía, Carretera Toluca-Almoloya de Juárez km. 5.6, Santiaguito Tlalcilcali 50904, Almoloya de Juárez, Estado de México, México.

Correspondencia para autor: Miguel Martínez-López

Universidad Politécnica del Valle de Toluca

Correo electrónico: miguel.martinez@upvt.edu.mx

Resumen

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química de combustibles directamente en energía eléctrica mediante una reacción de óxido-reducción. El combustible y agente oxidante más comunes son el hidrógeno y el oxígeno, respectivamente. Los componentes principales de una celda de combustible son el electrolito, electrodos (ánodo y cátodo) y el circuito externo. Las temperaturas de operación van desde 15 hasta 1000 °C. Las aplicaciones dependen de varios factores como el electrolito, combustible, temperatura de operación y catalizadores. Entre las principales aplicaciones de las celdas de combustible está suministrar energía a dispositivos móviles y edificios, así como en la industria aeroespacial. Las principales ventajas de estos dispositivos son las altas eficiencias y bajas emisiones de CO₂, esto convierte a las celdas de combustible en una opción atractiva para el desarrollo sustentable.

Palabras clave: celdas de combustible, hidrógeno, temperaturas de operación, aplicaciones, desarrollo sustentable.

Abstract

Fuel cells are electrochemical devices that convert chemical energy from fuels directly into electrical energy through an oxidation-reduction reaction. The most common fuel and oxidizing agent are hydrogen and oxygen, respectively. The main components of a fuel cell are the electrolyte, electrodes (anode and cathode) and the external circuit. The operating temperatures range from 15 to 1000°C. Applications depend on several factors such as electrolyte, fuel, operating temperature and catalysts. Among the main applications of fuel cells are powering mobile devices and buildings, as well as in the aerospace industry. The main

advantages of these devices are high efficiencies and low CO₂ emissions, making fuel cells an attractive option for sustainable development.

Keywords: fuel cells, hydrogen, operating temperatures, applications, sustainable development.

Introducción

Las tecnologías y fuentes de energía para la producción de electricidad han cambiado considerablemente en los últimos cien años. En la actualidad la mayor parte de la electricidad es producida mediante turbinas de vapor que usan combustibles fósiles (gas natural y carbón). En menor porcentaje se usan turbinas de gas, turbinas hidráulicas, turbinas eólicas y paneles solares. Respecto a las fuentes de energía, los combustibles fósiles son los más usados, seguido de la energía nuclear y energías renovables.

Con el fin de suministrar energía eléctrica de manera segura, fiable y respetuosa del medio ambiente, se han buscado tecnologías nuevas que sean capaces de superar los desafíos sociales, políticos y, principalmente, económicos. Entre estas tecnologías se encuentra la energía solar fotovoltaica, energía eólica, energía solar fototérmica, etc., pero no son las únicas, también podemos encontrar a las celdas de combustible, a menudo llamadas pilas de combustible.

Una celda de combustible es un dispositivo que utiliza la energía química de combustibles como el hidrógeno y el metanol para producir energía eléctrica de manera limpia y con eficiencias superiores a las tecnologías convencionales basadas en la combustión. Las emisiones contaminantes de estas celdas son mucho menores en comparación con motores de combustión, o prácticamente nulas si se usa hidrógeno como combustible.

Las escalas de esta tecnología son muy variadas ya que las celdas pueden ser pequeñas para alimentar dispositivos portátiles o de mayor tamaño y capacidad para proporcionar energía en centrales eléctricas. Estos dispositivos son usados en diversas áreas, entre ellas, en la industria del transporte, para proporcionar energía a edificios comerciales y residenciales o como sistemas de almacenamiento de energía, entre otros.

1. Celdas de combustibles

El desarrollo de las celdas de combustible se remonta a 1839 cuando William Grove creó una “batería voltaica gaseosa”. Este dispositivo tenía dos electrodos de platino insertados en un vaso de precipitado con una solución de ácido sulfúrico. En un electrodo colocó un tubo con oxígeno y en el otro electrodo un tubo con hidrógeno. Grove observó que los gases se consumían y al mismo tiempo se producía una corriente eléctrica. En 1889 Charles Langer y Ludwing Mod modificaron el dispositivo de Grove utilizando un monoconductor poroso con el fin de resolver el problema de la invasión de electrodos. A partir de este estudio se comenzó a usar el término “celda de combustible”. En 1939 Francis Thomas Bacon construyó la primera celda con aplicación práctica. Este dispositivo tenía un electrolito alcalino y electrodos de níquel y fue utilizada en submarinos de la segunda guerra mundial y en naves espaciales de la NASA para la misión Apolo (Breeze, 2017, 2019).

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos que convierten la energía química directamente en energía eléctrica mediante una reacción de oxidación-reducción (redox) entre un gas oxidante (oxígeno) y un combustible, generalmente hidrógeno. En la actualidad existen diferentes celdas de combustible para una gran variedad de aplicaciones, la diferencia entre estas radica en el tipo de electrolito, combustible y electrodos que usan. Entre las más comunes están la

celda de combustible alcalina, celda combustible de ácido fosfórico, celda de combustible de óxido de sólido, celda de combustible de carbonatos fundidos, celda de combustible de membrana de intercambio protónico y de metanol directo. Independientemente del tipo de electrolito y combustible que usen, una celda de combustible consta de cuatro componentes principales: electrolito (líquido o sólido), ánodo, cátodo y un circuito externo (Figura 1) (Campanari y Guandalini, 2020; Lindorfer y col., 2020).

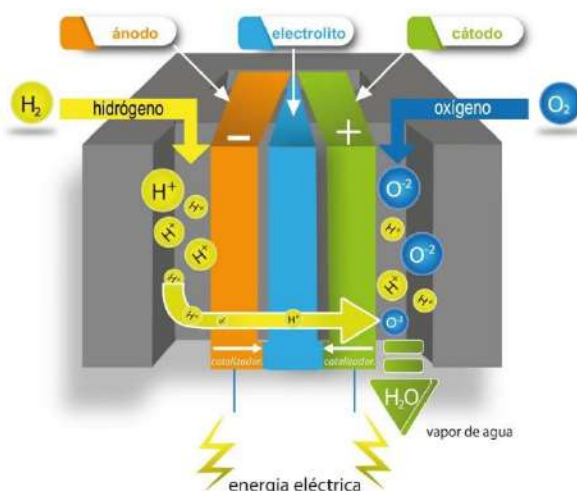


Figura 1. Partes de una celda de combustible.

Fuente: elaboración propia.

En una celda el combustible se alimenta continuamente al ánodo y el gas oxidante (generalmente oxígeno del aire) al cátodo. Las reacciones electroquímicas se llevan a cabo en los electrodos produciendo una corriente eléctrica a través del electrolito.

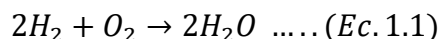
Las funciones de cada componente son las siguientes:

- **Electrolito:** transporta las especies iónicas producidas en el cátodo o ánodo y sirve como barrera para evitar que el combustible y el gas oxidante se

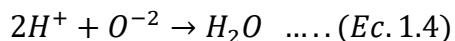
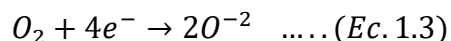
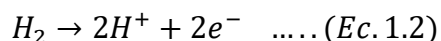
mezclen. Además, actúa como barrera para evitar un cortocircuito entre el ánodo y cátodo.

- Ánodo: proporciona las condiciones para que el hidrógeno se oxide y que sus electrones lleguen al interconector. Deben ser materiales porosos, delgados y con alta conductividad eléctrica.
- Cátodo: en este electrodo el oxígeno se reduce con los electrones del circuito externo y reacciona con el ion de hidrógeno formando agua. También debe ser un material con alta conductividad eléctrica, poroso y delgado.
- Circuito externo: su función es transferir electrones del ánodo al cátodo.

La reacción general que ocurre en la celda de combustible es:



En esta reacción el hidrógeno reacciona con el oxígeno para producir agua. Esta reacción es exotérmica, es decir, libera energía (Ec. 1.1). Para su estudio, esta reacción se divide en tres reacciones parciales o semirreacciones:



Si esta reacción se llevara a cabo en un tubo de ensayo se produciría calor, pero en una celda de combustible la mayor parte de la energía liberada es en forma de energía eléctrica (Breeze, 2019; Campanari y Guandalini, 2020; Lindorfer y col., 2020).

A temperatura ambiente, el hidrógeno y oxígeno se encuentran en forma molecular (H_2 y O_2), por lo que estas moléculas deben disociarse antes de reaccionar para

formar agua. Para que se lleve a cabo esta disociación es necesario aplicar energía suficiente para romper los enlaces químicos que mantienen unidas a las moléculas; esta energía es llamada energía de activación. Existen varios métodos para la disociación de las moléculas de hidrógeno y oxígeno, entre ellos, elevar su temperatura a más de 800 °C o mediante una llama o chispa, las cuales deben tener la energía suficiente para disociar estas moléculas e iniciar la reacción. Algunas celdas de combustible operan a altas temperaturas (750-1000 °C) para lograr la disociación molecular (Breeze, 2019).

Otra forma de disociar las moléculas de hidrógeno y oxígeno es mediante catalizadores los cuales son materiales capaces de iniciar o acelerar una reacción química sin consumirse durante dicha reacción. En las celdas de combustible el mejor catalizador es el platino (Pt) soportado en otro material, generalmente carbón, lo cual permite temperaturas de operación menores a 100 °C. Un inconveniente de este catalizador es su elevado costo y que puede ser envenenado por las impurezas de los reactivos gaseosos como el dióxido de azufre (SO₂) y monóxido de carbono (CO) (Campanari y Guandalini, 2020; Sundén, 2019).

Como se mencionó anteriormente, en una celda de combustible la mayor parte de la energía liberada durante la reacción entre el hidrógeno y oxígeno es en forma de energía eléctrica. Si esta reacción se lleva a cabo a temperatura ambiente y presión atmosférica, la máxima eficiencia teórica de conversión de energía química en electricidad sería del 83%. Esta eficiencia es ideal, por lo que ninguna celda de combustible podría alcanzarla. Tanto la presión como la temperatura modifican la eficiencia de una celda; un incremento en la presión mejoraría dichas eficiencia, mientras el incremento de la temperatura tiene un efecto contrario. En la práctica, la eficiencia de las celdas de combustible está entre el 20 y 60% (Lindorfer y col., 2020; Pramuanjaroenkij y Kakaç, 2023; Sundén, 2019).

2. Tipos de celdas de combustible

2.1 Celda de Combustible Alcalina (CCA)

La celda de combustible alcalina usa como electrolito una solución concentrada de hidróxido de potasio. Por lo general, la concentración de esta solución es del 30-40% y está soportado en una matriz, normalmente un sólido poroso. El hidrógeno gaseoso es inyectado en el ánodo, mientras que el oxígeno en el cátodo (Figura 2) (Ferriday y Middleton, 2022).

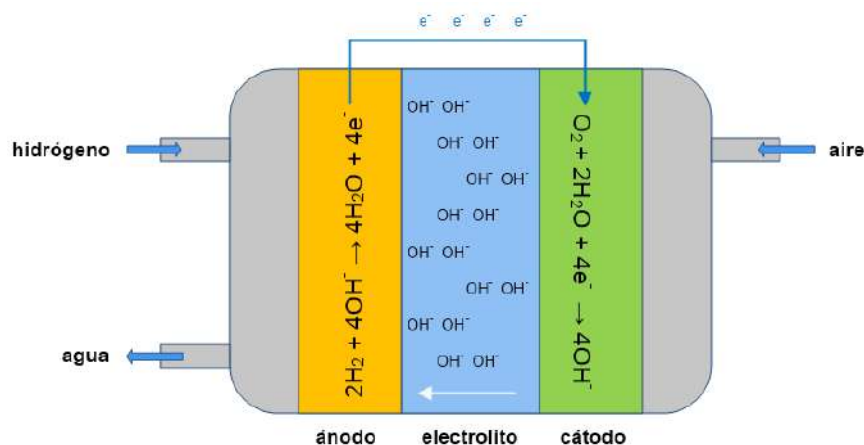
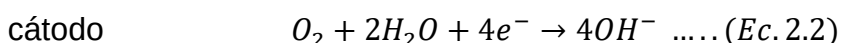
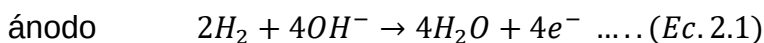


Figura 2. Celda de combustible alcalina.

Fuente: elaboración propia.

Como catalizadores se pueden usar diferentes materiales como óxidos metálicos o materiales nanoestructurados como nanopartículas de platino soportado en carbón. En la CCA, el portador de carga es el ion OH⁻, las reacciones en los electrodos son las siguientes:



Una característica importante de la CCA en la que se debe prestar atención es que el electrolito de hidróxido de potasio contribuye a la formación de carbonatos ($CO_2 + 2OH^+ \rightarrow (CO_3)^{-2} + H_2O$) los cuales forman precipitados que impiden el funcionamiento correcto de la celda. Para eliminar este problema se debe eliminar el dióxido de carbono del aire que se inyecta en el cátodo (Ferriday y Middleton, 2021).

Esta celda utiliza metales de transición como electrodos, su temperatura de operación es de 50 a 260 °C y alcanzan eficiencias de 50 a 60%. Entre las principales ventajas de esta celda está la amplia gama de catalizadores que se pueden usar, bajas temperaturas de operación y altas eficiencias. Como principal desventaja son los requerimientos de hidrógeno y oxígeno con alta pureza, esto se ve reflejado en el tamaño y costo del sistema (Breeze, 2019; Ferriday y Middleton, 2021).

La celda de combustible alcalina fue una de las primeras celdas modernas. Una de sus primeras aplicaciones fue durante la Segunda Guerra Mundial para suministrar energía a los submarinos de la Marina Real y años después para suministrar energía y agua potable a la nave espacial Apollo y Shuttle Orbiter. Su aplicación terrestre se ha visto limitada por su sensibilidad al CO_2 , sus altos costos y corta vida útil (2600-5000 horas), aunque ya se han propuesto para su uso en vehículos (tractores, camiones y taxis) (Breeze, 2019; Ferriday y Middleton, 2021, 2022).

2.2 Celda de Combustible de Ácido Fosfórico (CCAF)

Este dispositivo usa ácido fosfórico puro (H_3PO_4) como electrolito, el cual está soportado en una matriz de carburo de silicio manteniéndose en el interior de los

poros mediante acción capilar. Debido al estado líquido del electrolito, se debe tener cuidado para controlar su evaporación o migración para que la celda pueda operar correctamente. El portador de carga en este tipo de celdas es el ion H^+ y opera generalmente entre 150 y 220 °C; sus electrodos son de materiales compuestos a base de platino o de papel carbón poroso recubierto con una capa fina de platino o una aleación de platino. Como combustible utiliza hidrogeno y como oxidante el oxígeno del aire. Su eficiencia es de 40 a 50%. La CCAF funciona normalmente a presión atmosférica, aunque es posible operar a mayores presiones para incrementar su eficiencia (Fuller y Gallagher, 2008; Oka, 2009).

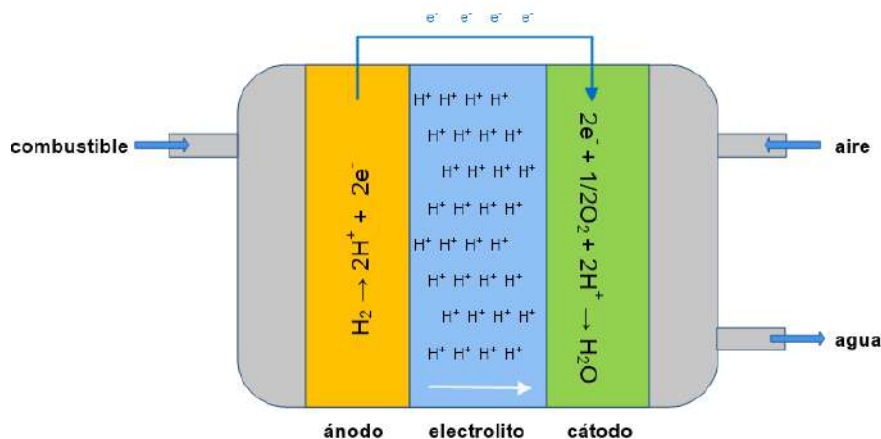
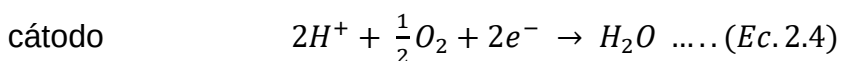
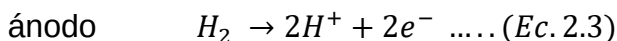


Figura 3. Celda de combustible de ácido fosfórico.

Fuente: elaboración propia.



El hidrógeno es disociado en el ánodo (Figura 3), produciéndose iones H^+ y liberando electrones (Ec. 2.3). Estos electrones fluyen mediante el circuito externo hasta el cátodo y reaccionan con las moléculas de oxígeno presente en el aire

produciéndose iones O^{2-} . Los iones H^+ viajan a través del electrolito y reaccionan con los iones de oxígeno para formar agua la cual debe ser eliminada eficazmente para evitar que entre en contacto con el electrolito (Campanari y Guandalini, 2020; Lindorfer y col., 2020).

La celda de ácido fosfórico requiere de calentarse hasta su temperatura de operación antes de ser usada, posteriormente la reacción exotérmica mantiene la temperatura requerida. Entre sus ventajas está su menor sensibilidad al CO , temperaturas de operación bajas y que el calor residual se puede usar en aplicaciones de cogeneración comercial e industrial. Como principales desventajas son el uso de catalizadores costosos (platino) y que el ácido fosfórico es altamente corrosivo por lo que la construcción de la celda requiere de materiales costosos. Además, se debe tener especial cuidado en la temperatura de operación de la celda ya que a temperaturas superiores a $200\text{ }^{\circ}C$ el electrolito comienza a descomponerse incrementando su reactividad, principalmente con los componentes de carbono de la celda (Campanari y Guandalini, 2020; Fuller y Gallagher, 2008).

Las CCAF están comercialmente disponibles y sus aplicaciones son muy variadas. Se han usado principalmente para suministrar electricidad, agua caliente y calefacción en hospitales, centros comerciales, oficinas y como respaldo de energía. Las capacidades han alcanzado hasta 400 kW y una vida útil de hasta 40 mil horas, lo que proporciona un gran potencial operativo (Bhosale y col., 2022; Lindorfer y col., 2020).

2.3 Celda de Combustible de Óxido Sólido (CCOS)

Esta celda de combustible tiene un electrolito sólido generalmente formado por zirconio estabilizado con itria. Este proceso es posible sólo a altas temperaturas por lo que la operación de esta celda es de 500 a $1000\text{ }^{\circ}C$. El electrolito sólido tiene

espesores de entre 10 y 100 μm . En una CCOS, el hidrógeno se oxida en el ánodo y se producen iones H^+ , liberándose electrones (Ec. 2.5). En este electrodo también se forma vapor de agua debido a la reacción entre los iones de hidrógeno y oxígeno (Figura 4). El oxígeno se reduce en el cátodo con los electrones liberados en el ánodo, produciéndose iones O^{2-} los cuales viajan a través del electrolito hasta el ánodo (Skabelund y Milcarek, 2022; Sundén, 2019).

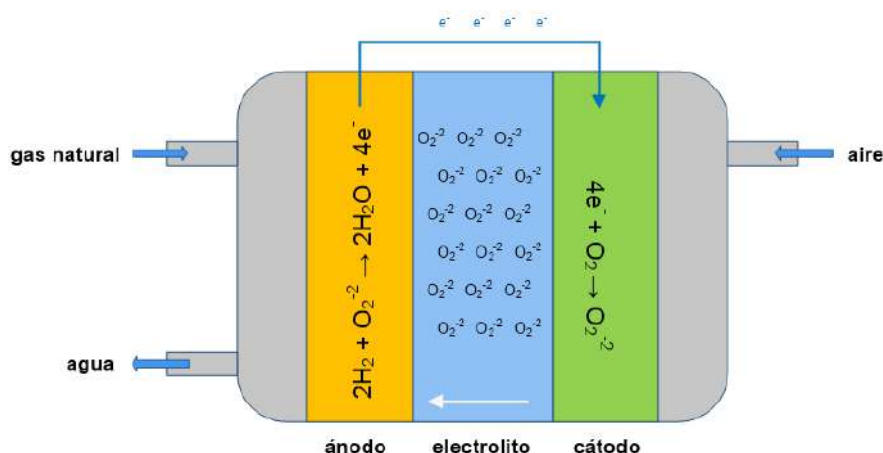
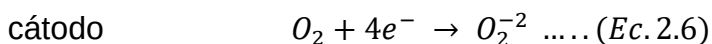
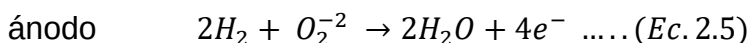


Figura 4. Celda de combustible de óxido sólido.

Fuente: elaboración propia.



Debido a que opera a altas temperaturas, esta celda no requiere de catalizadores costosos para facilitar la disociación del hidrógeno y oxígeno molecular en los electrodos. Por lo general, el ánodo es de cobalto metálico en una matriz cerámica (CO-ZrO_2) o níquel metálico también en una matriz cerámica (Ni-ZrO_2). Por otro lado, el cátodo debe tener una alta conductividad eléctrica (por ejemplo, magnetita de lantano dopada con estroncio), debe ser poroso y soportar las altas temperaturas de operación. Este dispositivo es capaz de utilizar hidrógeno o gas natural como

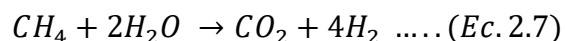
combustible. La eficiencia del CCOS es de 50 a 60% y el conductor de carga es el ion O^{2-} (Campanari y Guandalini, 2020; Lindorfer y col., 2020).

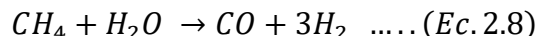
Entre las principales ventajas de esta celda están sus diferentes formas (tubular, plana o monolítica), costos de construcción menores respecto a otras celdas y que el calor residual puede ser utilizado en ciclos de cogeneración, además su funcionamiento es silencioso. Como desventajas están sus altos costos de producción, la expansión térmica de los materiales debido a las altas temperaturas de operación y la corrosión de los materiales metálicos. Por otro lado, si se usa gas natural como combustible, el sulfuro de hidrógeno presente en este gas entra en contacto con el ánodo provocando el envenenamiento de este electrodo, esto disminuye la eficiencia y durabilidad de la celda (Breeze, 2019; Sundén, 2019).

Las aplicaciones de estas celdas son variadas, pero destaca la generación de energía estacionaria en ciclos combinados y sistemas portátiles. Además, esta celda puede ser integrada con turbinas de gas. Las capacidades de estas unidades van de 20 W hasta varios megavatios (MW). Su vida útil es de hasta 60 mil horas (Sørensen y Spazzafumo, 2018; Sundén, 2019).

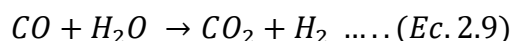
2.4 Celda de Combustible de Carbonatos Fundidos (CCCF)

Esta celda es alimentada con gas natural el cual es sometido a un proceso de reformado con vapor de agua en el interior de la celda para producir hidrógeno. Este proceso es posible debido a la temperatura de operación de la celda (600-700 °C). Durante el proceso de reformado se puede producir hidrógeno y dióxido de carbono (Ec. 2.7) o hidrógeno y monóxido de carbono (Ec. 2.8):

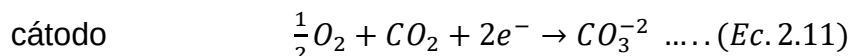
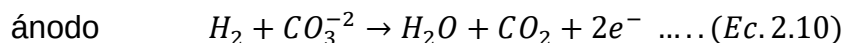




El monóxido de carbono producido (Ec. 2.9) reacciona con vapor de agua produciendo más hidrógeno y dióxido de carbono:



El electrolito de las CCCF es una mezcla de carbonatos de metales alcalinos los cuales son sólidos a temperatura ambiente. Estos carbonatos se funden por la alta temperatura de operación de esta celda y son capaces de conducir iones carbonato (CO_3^{-2}). Estos iones son contenidos en una matriz sólida, normalmente de óxido de litio o aluminio. Este tipo de dispositivos son los más complejos de todas las celdas. Las reacciones son las siguientes:



En el ánodo (Ec. 2.10) el hidrógeno reacciona con el ion carbonato para formar agua y dióxido de carbono, liberando dos electrones (Figura 5). En el cátodo reacciona el oxígeno y dióxido de carbono presentes en el aire inyectado con los electrones liberados en el ánodo y que llegan a través del circuito externo (Ec. 2.11). Como producto se obtiene el ion carbonato (CO_3^{-2}), el cual se difundirá en el electrolito hasta llegar al ánodo (Breeze, 2019; Sundén, 2019).

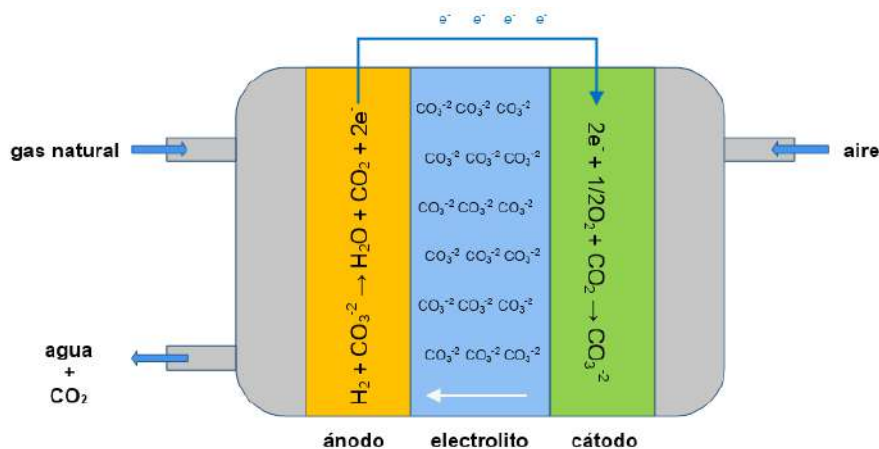


Figura 5. Celda de combustible de carbonatos fundidos.

Fuente: elaboración propia.

Esta celda no requiere de catalizadores costosos como el platino debido a su alta temperatura de operación por lo que se utilizan electrodos de níquel. El ánodo es generalmente de una aleación de níquel metálico y el cátodo de óxido de níquel. (Nguyen, 1988; Sundén, 2019).

La eficiencia de esta celda es menor al 60%, pero puede incrementarse si el calor generado se utiliza en un ciclo combinado, alcanzando eficiencias del 85%. Sus principales ventajas son que puede usar diferentes combustibles como hidrógeno y gas natural y que el calor residual se puede usar para producir más electricidad mediante una turbina de gas o microturbina, lo que aumenta la eficiencia total del sistema. Además, el vapor de agua a alta temperatura producido puede ser destinado a procesos industriales. Sus desventajas son el electrolito corrosivo, lo que implica el uso de materiales resistentes, tiempos de arranque lentos y las altas temperaturas son un problema para la estabilidad térmica de los materiales. Para sus diferentes aplicaciones, principalmente estacionarias, industriales y marinas, se

han desarrollado celdas de 100 kW-2.8 MW (Breeze, 2019; Campanari y Guandalini, 2020).

2.5 Celda de Combustible de Membrana de Intercambio Protónico (CCMIP)

El electrolito de esta celda es generalmente de sulfonato de poliperfluorocarbono (50-175 μm de espesor) que en su estado normal no es conductora, pero si se satura con agua los grupos ácidos adheridos a la membrana liberan protones, lo que permite conducir iones de hidrógeno. En una CCMIP (Figura 6) el hidrógeno se oxida en el ánodo liberando electrones (Ec. 2.12) los cuales fluyen hasta el cátodo mediante el circuito externo. Una vez en el cátodo, los electrones reaccionan con el oxígeno del aire y luego con el ion H^+ producidos en el ánodo para formar agua (Ec. 2.13) (Fan y col., 2021; Lindorfer y col., 2020).

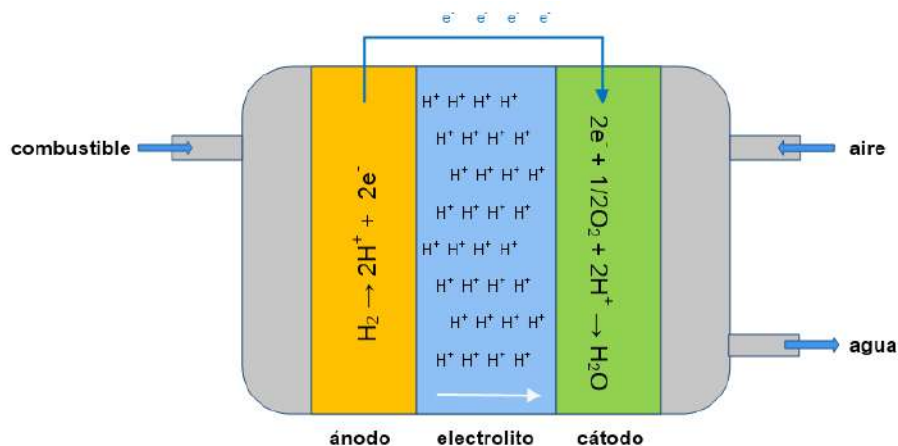
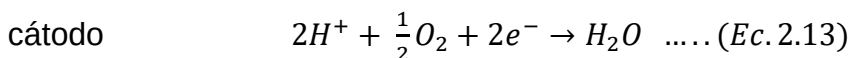
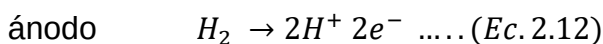


Figura 6. Celda de combustible de intercambio de protones.

Fuente: elaboración propia.



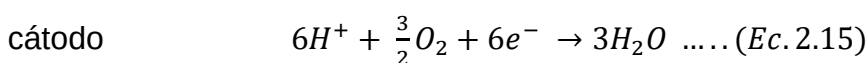
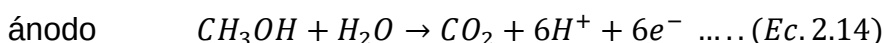
La temperatura de operación es menor a 100 °C y alcanza eficiencias de 40-50%. La eficiencia de esta celda podría mejorarse si la temperatura de operación se incrementa, esto también reduciría la sensibilidad al envenenamiento del catalizador. Los electrodos de la CCMIP son de platino soportado en carbón; utiliza hidrógeno como combustible y el oxígeno lo obtiene del aire. Es importante eliminar el CO y compuestos de azufre de las corrientes de gases para evitar el envenenamiento del catalizador. Entre sus ventajas está la resistencia de su electrolito sólido, baja temperatura de operación y arranque rápido, además no tiene componentes corrosivos. Como principales desventajas está el uso de catalizadores costosos (platino) y sensibles al envenenamiento y que sólo usa hidrógeno como combustible (Breeze, 2019; Sundén, 2019).

Sus principales aplicaciones son para uso doméstico, comercial, estacionarias y de transporte. Su bajo peso y eficiencia relativamente alta la convierte en una opción para la industria automotriz. Su vida útil varía entre 10 y 40 mil horas, mientras que sus capacidades son de 10 kW-1 MW. Estas celdas de combustible son usadas por la NASA para en su programa espacial Gemini (Campanari y Guandalini, 2020; Fan y col., 2021).

2.6 Celdas de Combustible de Metanol Directo (CCMD)

La celda de combustible de metanol directo tiene como electrolito una membrana de polímero ácido similar a la membrana de las celdas de intercambio de protones. El ánodo está hecho de una mezcla de platino-rutenio y el cátodo es de platino, ambos soportados en carbono. Este dispositivo tiene cierta similitud con la celda de intercambio de protones, la diferencia radica en los reactivos usados; la CCMIP usa hidrógeno mientras que la CCMD, como su nombre lo indica, usa metanol líquido como combustible el cual es mezclado con agua para reaccionar directamente en

el electrodo. En el interior de la CCMD se lleva a cabo el reformado del metanol con agua produciéndose hidrógeno el cual se oxida en el ánodo liberando electrones. Los electrones liberados reaccionan en el cátodo con el oxígeno y lo ionizan. Los iones O^{2-} reaccionan con los iones H^+ que viajan a través del electrolito y llegan al cátodo formando agua. Las reacciones son las siguientes:



En la Figura 7 se presenta el esquema de esta celda y las reacciones en el ánodo y cátodo (Breeze, 2019; Li y Faghri, 2013; Zuo y col., 2022).

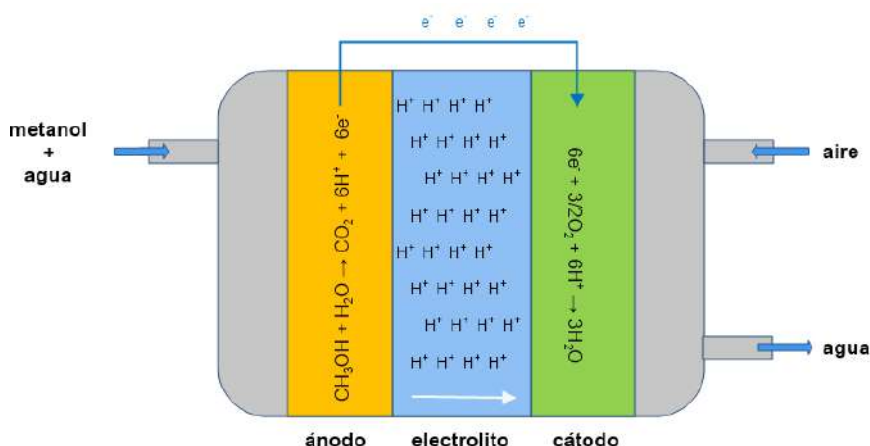


Figura 7. Celda de combustible de metanol directo.

Fuente: elaboración propia.

La temperatura de operación de esta celda es generalmente menor a 100 °C con eficiencias relativamente bajas (25 a 40 %), pero en ciclos combinados de calor y potencia, la eficiencia total del sistema puede alcanzar el 80 %. Sus principales ventajas son el uso de combustibles líquidos lo que se traduce en menores costos,

temperaturas de operación bajas y alta densidad de corriente eléctrica. Como desventajas está la liberación de CO_2 durante su operación y bajas eficiencias. Además, si el metanol atraviesa el electrolito y llega al cátodo, el catalizador de platino se contamina con el CO y CO_2 producidos por la oxidación del combustible (Campanari y Guandalini, 2020; Sundén, 2019).

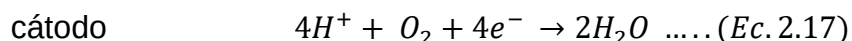
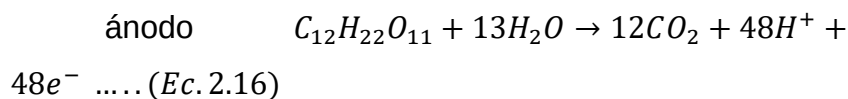
Las aplicaciones de esta celda son principalmente portátiles como computadoras y teléfonos móviles, aunque también ha llamado la atención de la industria automotriz. Su vida útil es relativamente baja (mil horas) con capacidades menores a 200 W (Breeze, 2019; Campanari y Guandalini, 2020).

2.7 Celda de Combustible Microbiana (CCM)

Una celda de combustible microbiana convierte la energía bioquímica en energía eléctrica mediante una reacción catalítica llevada a cabo por microorganismos (bacterias o levaduras). Las reacciones que ocurren en este tipo de celda son diferentes a una celda de combustible clásica debido al tipo de combustible que usa (compuesto orgánico). Los componentes básicos de una CCM son: a) cámara anódica anaeróbica, b) cámara catódica aeróbica, c) membrana de intercambio de protones y d) electrodos.

Las cámaras anódicas y catódicas son generalmente de vidrio o de polímero como el acrílico. El ánodo y cátodo de esta celda están hechos de materiales compuestos a base de carbono y metales como acero inoxidable, níquel, aluminio y cobre. El sistema de intercambio de protones es generalmente de Nafion (politetrafluoroetileno sulfonado), aunque ya se han probado puentes salinos, Ultrex, polietileno, alcohol polivinílico y materiales cerámicos (Agrahari y col., 2023).

En la cámara anaeróbica los microorganismos liberan electrones los cuales viajan del ánodo al cátodo a través de un circuito externo. Las reacciones de oxidación y reducción son las siguientes:



Los microorganismos que liberan electrones en el espacio extracelular durante el metabolismo son conocidos como exoelectrógenos. Algunos biocatalizadores (exoelectrógenos) utilizados en las CCM son *Geobacter sulfurreducens*, *Shewanella putrefaciens*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Rhodoferrax ferrireducens* y levaduras (Agrahari y col., 2023; Kouam Ida y Mandal, 2023; Santoro y col., 2017).

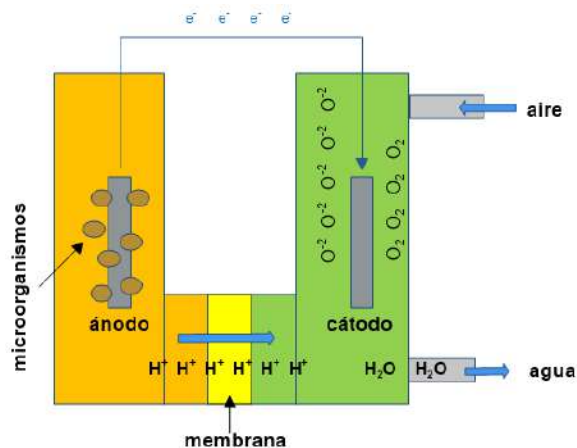


Figura 8. Celda de combustible microbiana.

Fuente: elaboración propia.

En esta celda el portador de carga es el ion H^+ (Figura 8) y sus temperaturas de operación son de 15 a 60 °C. Como reactivos usan oxígeno y biomasa, entre ellas, aguas residuales, lo que contribuye a disminuir el impacto ambiental de estos

residuos. Respecto a la eficiencia, es difícil establecer un rango ya que esta depende de la arquitectura de la celda, sustratos y microorganismos utilizados. Como ventajas está la amplia variedad de biomasa que puede ser usada como combustible y como principales desventajas es la baja eficiencia, variaciones de voltaje y densidad de corriente producidos por los cambios de pH, temperatura y flujo de combustible. Las principales aplicaciones son el tratamiento de aguas residuales y producción de energía eléctrica. Además, se han propuesto para aplicaciones móviles, aunque falta mucho para alcanzar este objetivo (Kouam Ida y Mandal, 2023; Meylani y col., 2023; Santoro y col., 2017).

Conclusiones

Las políticas energéticas actuales deben modificarse para alcanzar una compatibilidad entre el consumo energético y la preservación del medio ambiente. Lo anterior es posible si se sustituyen o combinan las tecnologías convencionales de producción de energía con tecnologías sustentables. Una opción para alcanzar un sistema energético sostenible es el uso de celdas de combustible las cuales tienen capacidad de suministrar energía eléctrica a diferentes escalas.

Las celdas de combustible son dispositivos electroquímicos capaces de proveer energía eléctrica de manera continua en tanto se suministre combustible y un agente oxidante. Sus aplicaciones dependen de diferentes variables como la temperatura de operación, tipo de combustible, electrolito y electrodos. Actualmente se usan en medios de transporte, industria automotriz, dispositivos portátiles y aplicaciones residenciales.

Referencias

Agrahari, R., Agarwal, P., & Rani, R. (2023). Microbial fuel cell for simultaneous wastewater treatment and bioelectricity generation. In C. M. Hussain, A. Kushwaha, R. N. Bharagava and L. Goswami (Ed.), *Bio-Based Materials and Waste for Energy Generation and Resource Management*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91149-8.00012-0>. Fecha de consulta: 18 de mayo de 2023.

Bhosale, A. C., Suseendiran, S. R., Ramya, R., Choudhury, S. R., & Rengaswamy, R. (2022). Phosphoric Acid Fuel Cells. In T. M. Letcher (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00006-6>. Fecha de consulta: 13 de enero de 2023.

Breeze, P. (2017). An Introduction to Fuel Cells. In P. Breeze (Ed.), *Fuel Cells*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101039-6.00001-7>. Fecha de consulta: 6 de febrero de 2023.

Breeze, P. (2019). Fuel Cells. In P. Breeze (Ed.), *Power Generation Technologies*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102631-1.00007-9>. Fecha de consulta: 9 de diciembre de 2022.

Campanari, S., & Guandalini, G. (2020). Fuel cells: opportunities and challenges. In A. Basile, G. Centi, M. De Falco y G. Iaquaniello (Ed.), *Studies in Surface Science and Catalysis*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64337-7.00018-5>. Fecha de consulta: 4 de enero de 2023.

Fan, L., Tu, Z., & Chan, S. H. (2021). Recent development of hydrogen and fuel cell technologies: A review. *Energy Reports*. 7: 8421–8446. <https://doi.org/10.1016/J.EGYR.2021.08.003>

Ferriday, T. B., & Middleton, P. H. (2021). Alkaline fuel cell technology - A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 46: 18489–18510.
<https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2021.02.203>

Ferriday, T. B., & Middleton, P. H. (2022). Alkaline Fuel Cells, Theory and Applications. In T. M. Letcher (Ed.), *Comprehensive Renewable Energy*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819727-1.00080-7> . Fecha de consulta: 25 de enero de 2023.

Fuller, T. F., & Gallagher, K. G. (2008). Phosphoric acid fuel cells. In M. Gasik (Ed.), *Materials for Fuel Cells*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1533/9781845694838.209>. Fecha de consulta: 20 de enero de 2023.

Kouam Ida, T., & Mandal, B. (2023). Microbial fuel cell design, application and performance: A review. *Materials Today: Proceedings*. 76: 88–94.
<https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2022.10.131>

Li, X., & Faghri, A. (2013). Review and advances of direct methanol fuel cells (DMFCs) part I: Design, fabrication, and testing with high concentration methanol solutions. *Journal of Power Sources*. 226: 223–240
<https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2012.10.061>

Lindorfer, J., Rosenfeld, D. C., & Böhm, H. (2020). Fuel Cells: Energy Conversion Technology. In T. M. Letcher (Ed.), *Future Energy: Improved, Sustainable and Clean Options for Our Planet*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102886-5.00023-2>. Fecha de consulta: 7 de enero de 2023.

Meylani, V., Surahman, E., Fudholi, A., Almalki, W. H., Ilyas, N., & Sayyed, R. Z. (2023). Biodiversity in microbial fuel cells: Review of a promising technology for wastewater treatment. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 11: 109503. <https://doi.org/10.1016/J.JECE.2023.109503>

Nguyen, Q. M. (1988). Technological status of nickel oxide cathodes in molten carbonate fuel cells — A review. *Journal of Power Sources*. 24: 1–19. [https://doi.org/10.1016/0378-7753\(88\)80085-5](https://doi.org/10.1016/0378-7753(88)80085-5)

Oka, Y. (2009). FUEL CELLS – PHOSPHORIC ACID FUEL CELLS | Cells and Stacks. In J. Garche (Ed.), *Encyclopedia of Electrochemical Power Sources*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-044452745-5.00277-X>. Fecha de consulta: 9 de febrero de 2023.

Pramuanjaroenkij, A., & Kakaç, S. (2023). The fuel cell electric vehicles: The highlight review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 48: 9401–9425. <https://doi.org/10.1016/J.IJHYDENE.2022.11.103>

Santoro, C., Arbizzani, C., Erable, B., & Ieropoulos, I. (2017). Microbial fuel cells: From fundamentals to applications. A review. *Journal of Power Sources*. 356: 225–244. <https://doi.org/10.1016/J.JPOWSOUR.2017.03.109>

Skabelund, B. B., & Milcarek, R. J. (2022). Review of thermal partial oxidation reforming with integrated solid oxide fuel cell power generation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 168: 112852. <https://doi.org/10.1016/J.RSER.2022.112852>

Sørensen, B., & Spazzafumo, G. (2018). Fuel cell systems. In B. Sørensen (Ed.), *Hydrogen and Fuel Cells*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100708-2.00004-7>. Fecha de consulta: 9 de febrero de 2023.

Sundén, B. (2019). Fuel cell systems and applications. In B. Sundén (Ed.), *Hydrogen, Batteries and Fuel Cells*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816950-6.00011-7>. Fecha de consulta: 9 de febrero de 2023.

Zuo, Y., Sheng, W., Tao, W., & Li, Z. (2022). Direct methanol fuel cells system—A review of dual-role electrocatalysts for oxygen reduction and methanol oxidation. *Journal of Materials Science & Technology*. 114: 29–41. <https://doi.org/10.1016/J.JMST.2021.10.031>

Agave: importancia y aplicaciones en México

Agave: value and applications in Mexico

Dra. Mónica Alejandra Robles Arias

Dra. Alma Elizabeth Cruz Guerrero

Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa,
Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Ciudad de México. C.P. 09340, México.

Correo electrónico: aec@xanum.uam.mx

ORCID: 0000-0002-9686-2267

Área de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias

Resumen

México es un país que cuenta con una gran biodiversidad de plantas. Entre esta vasta vegetación se encuentra la planta de agave, cuyo uso abarca diversas áreas. El agave es originario de México y de las 272 especies reportadas, 135 se consideran especies endémicas. Sin embargo, debido a su importancia económica destacan el *Agave tequilana* Weber Azul del cual se obtiene el tequila y el *Agave salmiana* o mejor conocido como agave pulquero. No obstante, su uso va más allá de la elaboración de bebidas alcohólicas. Por ejemplo, la planta de agave ha sido empleada con fines ornamentales siendo el *Agave victoria* y el *Agave americana* los más populares. Además, ha sido empleado para marcar límites dentro de las parcelas, concepto mejor conocido como “metepantle”. Como uso doméstico, es empleado en la elaboración de cepillos, escobas, platos, etc. Más aún, el agave, tiene presencia en la gastronomía mexicana, ya sea como condimento o su consumo directo, como la flor de maguey capeada. Adicionalmente, se le han atribuido propiedades medicinales, tales como antiséptico o para el tratamiento de enfermedades hepáticas. Debido a ello, se han realizado investigaciones cuyo objetivo consiste en establecer cuáles son los componentes con actividad bioactiva responsables de los efectos benéficos en la salud. Dado los múltiples campos de aplicación que tiene la planta de agave, la finalidad de este artículo es brindar información al lector para que conozca más de esta maravillosa planta y algunos ejemplos de sus tan diversos usos.

Palabras clave: *Agave, propiedades medicinales, compuestos bioactivos.*

Abstract

Mexico is a megadiverse country with a great biodiversity of plants and animals. Among this vast vegetation we can find the agave plant which has wide applications, we refer to the agave. The agave is considered native to Mexico and of its

approximately 272 reported species, 135 are considered endemic species. However, due to its economic importance, the *Agave tequilana* Weber Azul, from which tequila is obtained, and the *Agave salmiana* or better known as agave pulquero stands out. However, its use goes beyond the production of alcoholic beverages. For example, the agave plant has been used for ornamental purposes, with *Agave victoria* and *Agave americana* being the most popular. Additionally, it has been used to mark boundaries within plots, a concept better known as "metepantle". As domestic used, it is employed to make brushes, brooms, plates, etc. Furthermore, the agave has a presence in Mexican gastronomy, either as a condiment or its direct consumption, like the battered maguey flower. Furthermore, medicinal properties have been attributed to it, such as antiseptic or for the treatment of liver diseases. Due to this, research about establishing which are the components with bioactive activity responsible for the beneficial effects on health have been carried out. Given the multiple fields of application that the agave plant has, the purpose of this article is to give the reader closer to learning more about this wonderful plant and some examples of its many diverse uses.

Keywords: *Agave, medicinal properties, bioactive compounds.*

INTRODUCCIÓN

México es un país que cuenta con una gran biodiversidad de plantas y animales, de acuerdo con datos reportado en 2018 por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), se ubica en el quinto lugar de entre los 12 países megadiversos del mundo. Entre toda esta vasta vegetación se halla la planta de agave. Esta planta surgió hace aproximadamente 8 millones de años, su nombre proviene del griego *Agavos* que significa "admirable o noble" (Eguiarte & Gónzales-Gonzáles, 2007). Sus hojas son grandes y carnosas, con espinas en su contorno y una terminación en aguja fina.

El agave es considerado originario de México. De sus 272 especies reportadas, 135 se consideran especies endémicas. Sin embargo, son dos especies las que destacan económicamente: el *Agave tequilana* Weber Azul del cual se obtiene el tequila y el *Agave salmiana* o mejor conocido como agave pulquero (Montañes-Soto y col., 2011; SIAP, 2018b).

El *Agave tequilana* Weber Azul es una planta que está integrada por hojas (también llamadas pencas) y tallo, las cuales al unirse comprenden la porción conocida como piña que, al cosecharse, es empleada para la producción de tequila y recientemente para la producción de miel de agave e inulina (Bautista-Justo y col., 2001; Ceja-Ramírez y col., 2017; Montañes-Soto y col., 2011) (**Figura 1a**).

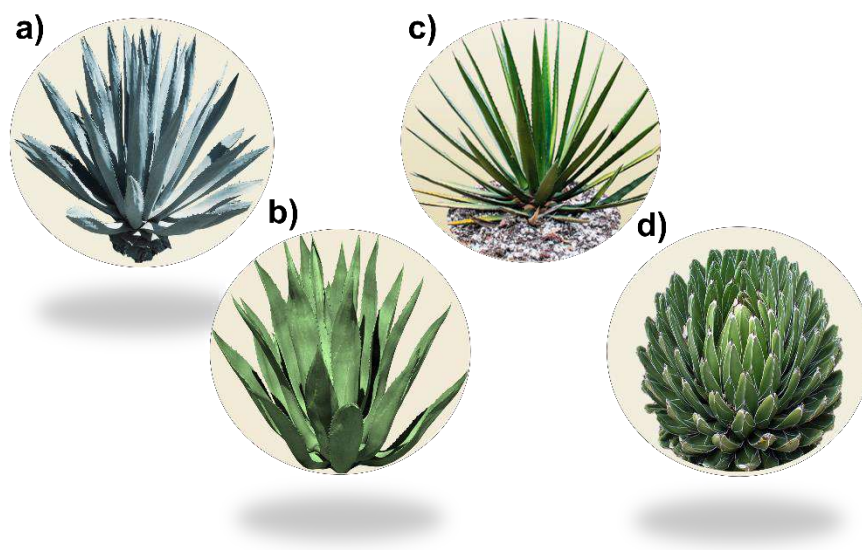


Figura 1. Anatomía del Agave. a) *Agave tequilana* Weber Azul. b) *Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck. c) *Agave lechuguilla*. d) *Agave victoria-reginae*

El *Agave salmiana* es empleado para la elaboración de pulque. Esta planta presenta un color verde opaco, pasando por el verde claro, verde amarillento al verde azulado

y se caracteriza por lo alto y ancho de sus pencas, las cuales llegan a medir hasta 3 m de altura y 28 cm de ancho (Cruz-Vasconcelos, 2019) **(Figura1b)**.

A pesar de que las especies antes mencionadas presentan una relevancia económica debido a las bebidas que de ellas se obtienen, existen otras especies importantes en cada uno de sus ámbitos. Por ejemplo, el *Agave victoriae-reginae* (originaria de México) es empleada con fines ornamentales y es muy popular gracias a su llamativo aspecto. Desafortunadamente, esta especie se encuentra en grave peligro de extinción debido a su extracción intensiva de su hábitat natural con fines lucrativos (González-Elizondo y col. 2015).

Por otra parte, el *Agave lechuguilla*, es empleado para la extracción de fibras las cuales son empleadas principalmente para la elaboración de cepillos, siendo el 93% de su producción exportada a Estados Unidos, Países Bajos, Suiza y Honduras, países donde México es el único exportador (Carmona y col. 2017).

Pese a que la planta de agave ha destacado por su uso en la producción de bebidas alcohólicas como el tequila y el mezcal, su uso abarca desde productos alimenticios, domésticos, textil y hasta la construcción. El objetivo de este artículo es ampliar el panorama limitado a las bebidas alcohólicas que se tienen del agave y acercar a los lectores a los diversos usos que se le ha dado a esta planta desde tiempos remotos hasta investigaciones innovadoras alrededor del agave.

1. EL AGAVE EN MÉXICO

En México, se encuentra exclusivamente, poco más de la mitad de todas las especies de agave actualmente conocidas, siendo los territorios del Altiplano Mexicano su lugar de origen. Dicha región abarca desde el centro del país hacia el norte, siendo la Sierra Madre Oriental y la Sierra Madre Occidental quienes marcan los límites oriente y poniente. A pesar de ser este su centro de origen, sus especies

se diversificaron, permitiéndonos encontrar diferentes especies a lo largo del país (CONABIO, 2021) (**Figura 2**), esto, debido en gran parte a su capacidad de sobrevivir con una disminución en el contenido de agua de sus tejidos de hasta 80 o 90% (Ramírez-Tobías, 2014). Por ejemplo, el *Agave angustifolia* Haw, conocido como “maguey delgado” o “espadín, se distribuye principalmente a lo largo de toda la República Mexicana siendo esta variedad la fuente de bebidas alcohólicas como el bacanora y el mezcal (Barrientos-Rivera y col., 2019). Por su parte, el *Agave americana* variedad *oaxacensis*, solamente se encuentra domesticada en la zona donde se une el valle de Tehuacán en Oaxaca y el extremo oriental de la cuenca del Balsas (ubicada en límite entre los estados de Guerrero y Michoacán) a partir de esta especie es posible obtener el mezcal, sin embargo, la producción de dicha bebida se ve limitada debido a que esta especie tarda alrededor de 20 años en madurar (CONABIO, 2021).



Figura 2. Distribución de los agaves en México.

2. USOS DE LA PLANTA DE AGAVE

Se sabe que los agaves han sido muy importantes en Mesoamérica desde hace 9,000 años, es más, los Huicholes, describieron al agave como la primera planta creada por Dios. Es tal la diversidad de esta planta que, tan sólo en Yucatán se encuentran reportadas al menos unas 40 formas de empleo, entre las que destacan la obtención de bebidas como el pulque, aguamiel, tequila, bacanora y el mezcal entre otros, sin embargo, el uso de la planta de agave se extiende más allá de la elaboración de bebidas alcohólicas (García-Mendoza y col., 2017).

2.1. ORNATO

A pesar del interés comercial e industrial del agave, esta planta también embellece el campo mexicano por lo que en muchos hogares es empleado con fines ornamentales (**Figura 3a, b**). Además, no requieren de mayor cuidado y pueden crecer fácilmente tanto en maceta como directo en el suelo. Algunos de los agaves ornamentales más vistosos son el *Agave victoria reginae* (**Figura 3a**) el cual es un hermoso agave succulento que posee hojas no muy alargadas, cortas y rígidas cuya floración se da entre los meses de junio a agosto. El *Agave americana* (**Figura 3b**), es una de las especies que se observa con más frecuencia en los jardines mexicanos, se caracteriza por sus hojas lanceoladas, alargadas, con espinas a lo largo de los bordes y con inflorescencias que llegan a medir hasta 10 m de altura (García-Suárez & Serrano, 2021).

Sin embargo, la planta de agave no se limita a embellecer el paisaje donde se encuentra, en muchos estados distintas partes de la planta son empleados con otros fines, por ejemplo, las semillas son destinadas para la elaboración de sonajas, adornos corporales o juguetes para niños, mientras que, las fibras del tallo de la flor del maguey (también conocidas como quiote) embellecen los tocados para mujeres (**Figura 3c**) (Esparza-Ibarra y col., 2015).



Figura 3. Usos ornamentales de la planta de agave. **a)** *Agave victoria reginae*. **b)** *Agave americana*. **c)** Productos elaborados con semillas de agave.

2.2. USO DOMÉSTICO

En los hogares mexicanos el agave ha tenido un uso muy diverso, en el cual se ha aprovechado las bondades de la planta en general, por ejemplo, con sus raíces se han elaborado cepillos para lavar, escobas y canastas (**Figura 4a**); mientras que sus espinas han sido empleadas como clavos, incluso, las púas con fibras han servido como aguja con hilo incluido. Además, en algunos estados como Hidalgo donde se acostumbra a cocinar barbacoa de hoyo, siendo el agave utilizado para cubrir dicho alimento (**Figura 4b**). Así mismo, desde civilizaciones prehispánicas hasta nuestros días se han utilizado las pencas de agave como recipientes para comida, de hecho, recientemente se ha empleado la fibra del agave para la elaboración de plásticos biodegradables destinados a la elaboración de recipientes para comida, cubiertos desechables, etc. (López-Montúfar & Anzures-Jaimes, 2014; Bioplásticos, 2020).



Figura 4. Uso del agave en el hogar. **a)** Productos domésticos elaborados a partir de la planta. **b)** Elaboración de la barbacoa.

2.3. COMIDA Y CONDIMENTOS

La cocina mexicana se distingue por su gran variedad de sabores y aromas en sus platillos, por lo que no es de extrañar que encontremos el agave como ingrediente, ya sea como condimento y hasta el consumo directo de la planta (**Figura 5a**). En Hidalgo, Tlaxcala y el Estado de México se consume como postre el quiote dulce del agave (**Figura 5b**). Tanto el quiote como la flor son comestibles, siendo estas servidas rellenas de queso, capeadas o la mexicana (**Figura 5c**) (SIAP, 2018a). En esta categoría también encontramos el conocido jarabe de agave (**Figura 5d**), el cual es empleado como edulcorante para sustituir el uso del azúcar refinado, debido a que tiene un índice glucémico menor que el azúcar común. Además, entre sus pencas y raíces, podemos encontrar insectos comestibles que evocan la alimentación prehispánica, los conocidos gusanos de maguey y los escamoles (**Figura 5e**) (Onofre-Sánchez y col., 2022).



Figura 5. Productos alimenticios obtenidos a partir de la planta de agave. **a)** Planta de agave en floración. **b)** Quiote dulce. **c)** Flor de agave capeada. **d)** Jarabe de agave. **e)** Gusanos de maguey.

2.4. CONSTRUCCIÓN

Aunque parece difícil de creer, el agave también es empleado en la rama de la construcción. Por ejemplo, el Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño (CUAAD) diseñó un prototipo de muro ecológico creado a partir de la mezcla de la fibra de agave y hiel seco (Gonzáles & Ballesteros, 2015). Por otro lado, investigadores de la Universidad Autónoma del Estado de México, han trabajado en la creación de bloques de adobe a partir de residuos de agave (Ruíz-Serrano, 2002), mientras que en algunos estados como Oaxaca emplean los quiotes secos y las pencas de maguey para construir los techos en las casas (**Figura 6a**), así como palapas que aportan sombra a los trabajadores en el campo (**Figura 6b**) (REZPIRAL, 2020).

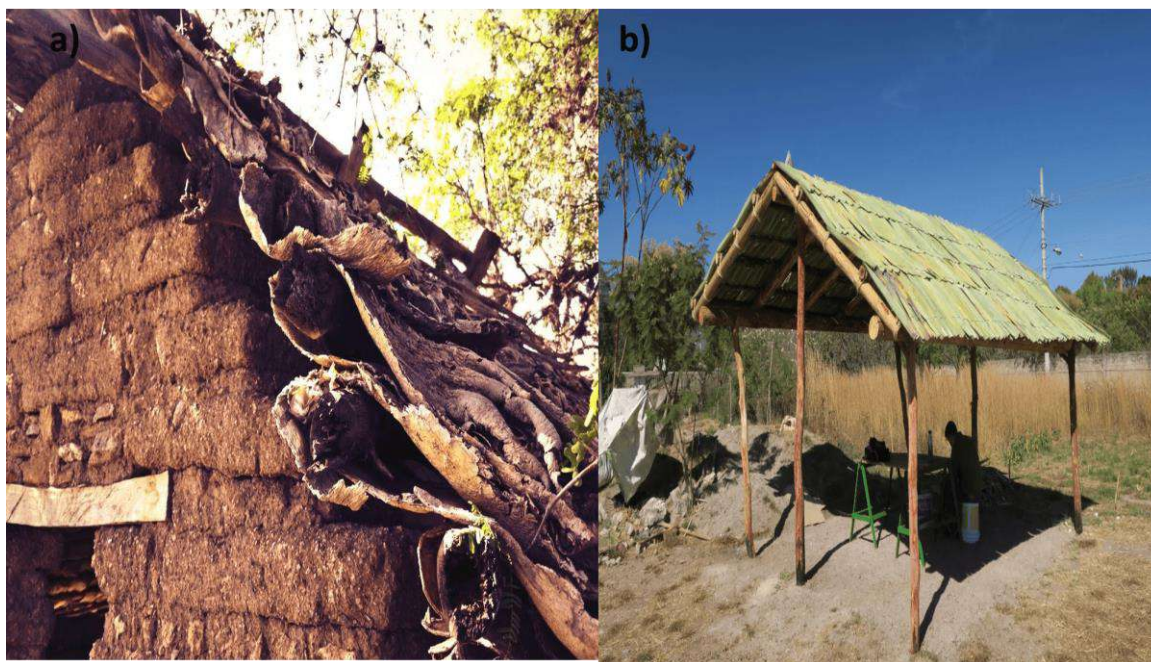


Figura 6. Uso de la penca de agave como techo en la elaboración de **a)** casas y **b)** palapas.

2.5. BEBIDAS

Como bien sabemos, el agave es conocido en su mayoría por las bebidas elaboradas a partir de él, siendo las más populares el tequila y el mezcal (**Figura 7 a, d**) (que incluso tienen denominación de origen) así como el aguamiel y el pulque. No obstante, existen otras bebidas que se obtienen a partir de esta planta y que, sin embargo, no son tan populares. Ejemplo de ello, es el bacanora (**Figura 7b**), destilado que se obtiene a partir del agave espadín. El bacanora, es un producto típico de Sonora que cuenta con denominación de origen. Pese a que, en el entonces gobierno de Plutarco Elías Calles, se prohibió su producción y consumo, y aunque no se eliminó por completo, la prohibición de ese entonces ha tenido consecuencias visibles hasta nuestros días (Domínguez-Arista, 2020).

Posiblemente sea una de las razones por la cual, el bacanora no goza de tanta popularidad como el mezcal y el tequila. Otro ejemplo de bebidas a partir del agave es el aguamiel (**Figura 7c**) conocido también como clachique, urapi o tlachique. Esta bebida se obtiene principalmente del maguey pulquero y se encuentra fácilmente en estados como Zacatecas, Tlaxcala, Michoacán, Puebla, etc. Sin embargo, se tiene conocimiento de que el aguamiel ya se extraía en el año 200 a.C. en Tula, Teotihuacan y Tulancingo. Cabe mencionar, que esta bebida tiene la ventaja de contener todos los aminoácidos esenciales (excepto la metionina), así como ser rica en vitaminas como la biotina y niacina (Escalante y col., 2011).

Otro de los productos más conocidos que se obtiene a partir del agave es el pulque, el cual se elabora mediante la fermentación del aguamiel. El consumo del pulque se ha ido modificando con los años. En la época prehispánica, su consumo era únicamente en rituales u ofrecido a los dioses como ofrenda, de hecho, fuera de esas fechas, sólo se les permitía consumirlo a los ancianos (Erlewein y col., 2013). Actualmente su consumo es en toda la República Mexicana y parte de los Estados Unidos, siendo el Distrito Federal, Estado de México, Hidalgo, Tlaxcala y Michoacán los estados con mayor producción y consumo (SAGARPA, 2015). No obstante, su consumo, no se limita a satisfacer nuestro paladar, en esta bebida, podemos encontrar un sin número de bacterias probióticas que ejercen una influencia positiva en la salud de sus consumidores, dentro de las bacterias que podemos encontrar destacan diferentes cepas de *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, así como *Leuconostoc* (Rodríguez-Juárez y col., 2021).

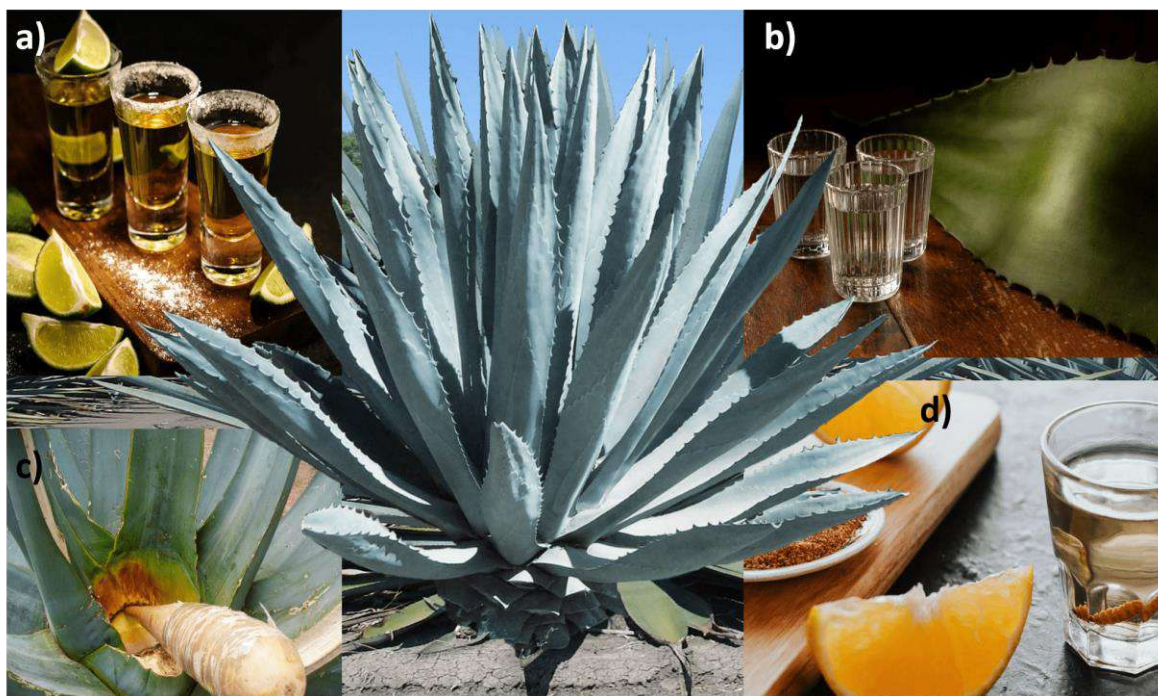


Figura 7. Bebidas alcohólicas obtenidas a partir de la planta de agave. **a)** Tequila. **b)** Bacanora. **c)** Aguamiel. **d)** Mezcal.

2.6. PROPIEDADES MEDICINALES

Desde tiempos remotos hasta la fecha, se ha utilizado la planta de agave como remedio para tratar distintos malestares. Antiguamente, era empleado entre los pobres y combatientes en las guerras para tratar infecciones. Sin embargo, las propiedades medicinales asociadas a la planta de agave se han diversificado a lo largo de los años (Escalona-Paneque y col., 2019). En la **Figura 8** se muestra algunos ejemplos de ello. Debido a las propiedades antisépticas tanto externas e internas de la savia del agave (llamada aguamiel), esta ha sido empleada para tratar desordenes digestivos causados por bacterias, como, por ejemplo, *Helicobacter pylori*, causante, además, de úlceras intestinales (Frisby-Morales y col., 2018). En

general, sus recomendaciones como planta medicinal abarcan desde el tratamiento de tuberculosis pulmonar (empleando el extracto de la raíz), tratamiento de enfermedades hepáticas, empleando directamente las hojas secas o en infusión. Mientras que, la fibra remojada en agua sirve como tónico en casos de alopecia (Escalona-Paneque y col., 2019).

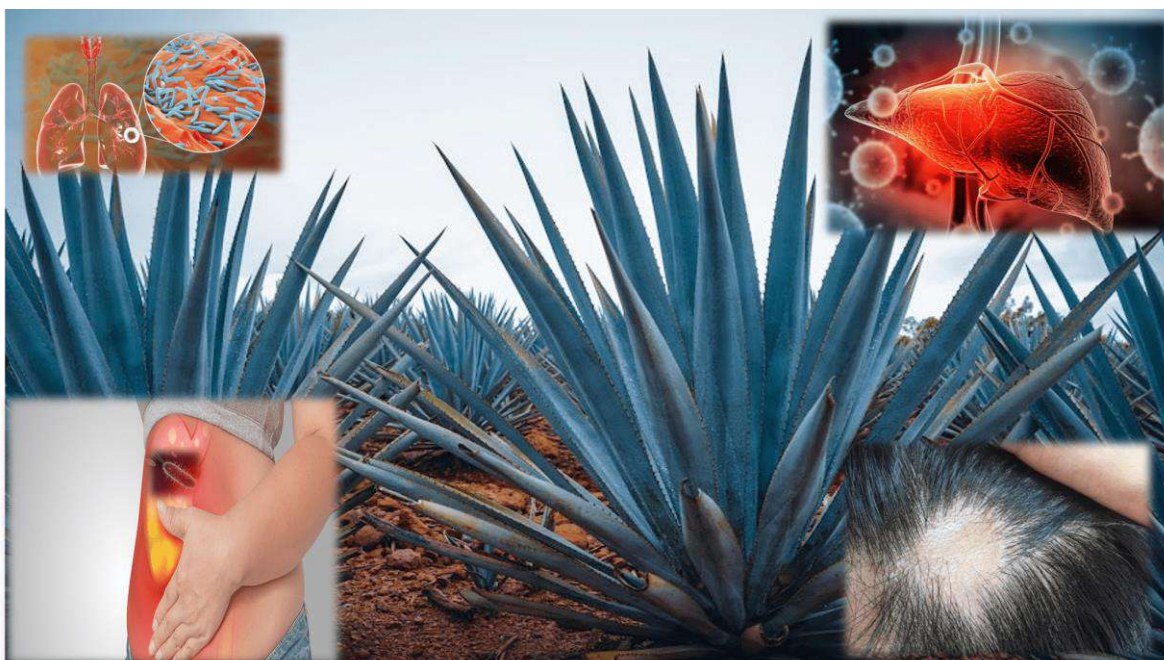


Figura 8. Usos medicinales de la planta de agave.

2.7. USO DEL MAGUEY EN LA AGRONOMÍA

Hace más de dos mil años, agricultores de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala y el Estado de México, practicaban el cultivo de milpas entre hileras de magueyes, llamando a este sistema “metepantle” (Viniegra-González, 2019). La palabra metepantle proviene de los vocablos “metl” maguey o agave y “pantli” bandera o división, y a pesar de ser

una práctica ancestral, es aún empleada en nuestros días, aunque no con el mismo auge que en épocas pasadas. Esta práctica consiste en el cultivo del maguey en hileras perpendiculares a la pendiente del terreno (García-Nuñez y col., 2020) **(Figura 9a)**.

En Tlaxcala, los magueyes son ampliamente usados para marcar límites dentro de las parcelas, lo que ayuda a disminuir el efecto de las heladas, así como evitar la erosión de suelos en áreas deforestadas por efecto de la fuerza del viento y del agua **(Figura 9b)**. Además, ofrece los beneficios de obtener bebidas como el pulque o aguamiel, alimento como los gusanos de maguey, escamoles y flores comestibles, etc. (SEMARNAT, 2019).

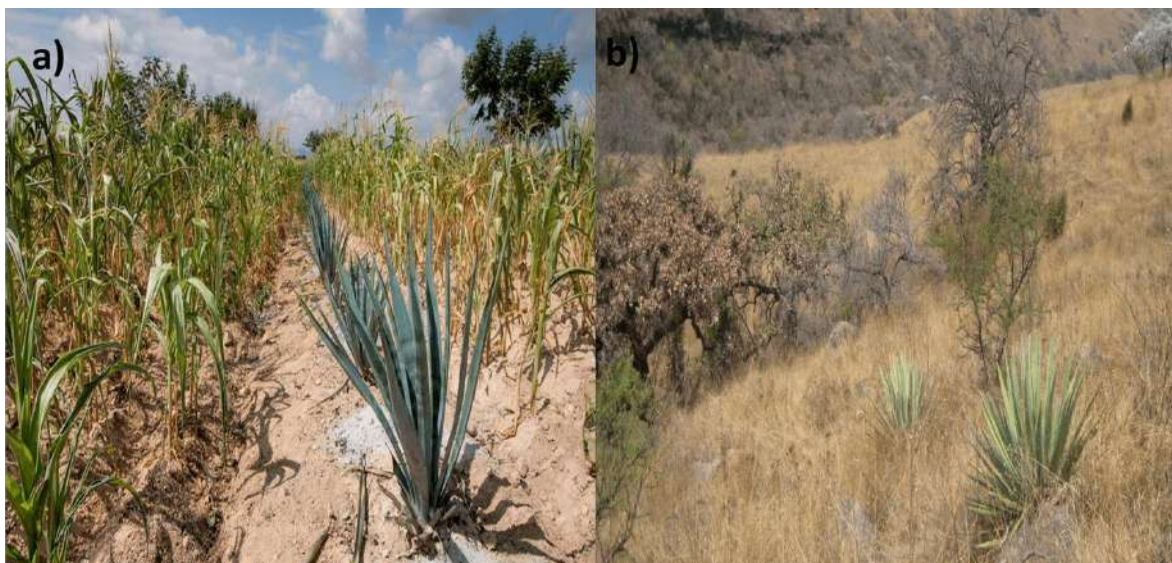


Figura 9. Uso del agave en la agronomía. **a)** Metepantle. **b)** Disminuir erosión en áreas deforestadas.

3. INVESTIGACIONES RECIENTES

Estudios que se están llevando a cabo sobre el agave han permitido esclarecer que compuestos son los responsables de los beneficios que tiene esta planta. En la **Figura 10**, se muestran algunos efectos benéficos que se han encontrado, por ejemplo, se ha reportado que los fructanos presentes en el agave contribuyen a disminuir la ganancia de peso, niveles de glucosa en sangre, además un bioconjugado fructanos-laurato induce la disminución de triglicéridos (Padilla-Camberos y col., 2023). Además, estos fructanos, presentan actividad prebiótica, ayudando al crecimiento de bacterias benéficas en el organismo de los consumidores, regulan el tránsito intestinal, la absorción de minerales y están relacionados con la inmunidad (Pineda-Tapia y col., 2021) (**Figura 10a**).

Adicionalmente, debido a la presencia de fitoquímicos como las saponinas y flavonoides, se le atribuyen al agave propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antimicrobianas y anticancerígenas (**Figura 10b**) (Álvarez-Chávez y col., 2021). Por su parte, las sapogeninas, han sido empleadas en la industria farmacéutica como precursores en la síntesis de hormonas esteroidales, así como su uso en el desarrollo de antiinflamatorios. En la planta de agave, se encuentra la hecogenina; sapogenina responsable del mayor efecto terapéutico de esta planta (Ingawale, 2020)

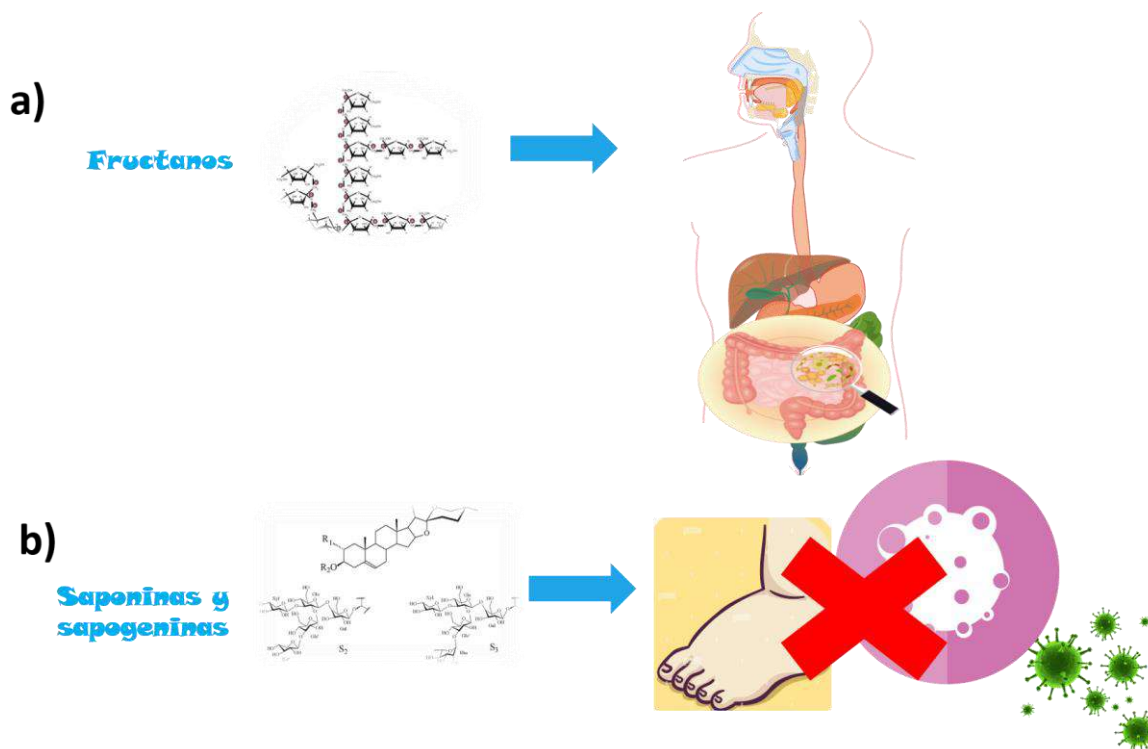


Figura 10. Efectos benéficos a la salud de compuestos recientemente encontrados en la planta de agave a) Actividad prebiótica. b) Efectos de las saponinas y sapogeninas como antiviral, anticancerígeno y antiinflamatorio

CONCLUSIONES

El agave es una planta que desde tiempos remotos hasta los actuales ha estado presente en nuestras vidas, sin embargo, su uso ha ido variando con el fin de adaptarse tanto a nuestras necesidades básicas; ya sea empleando distintas partes de la planta como instrumentos, adornos o para elaborar remedios para tratar distintos malestares, hasta la elaboración de distintas bebidas que se satisfagan los gustos no solo de la población mexicana, si no del mundo entero. No obstante, el desarrollo de la ciencia ha permitido encontrar una excelente materia prima a partir de la cual podemos extraer compuestos que aporten múltiples beneficios a la salud

de sus consumidores, por ejemplo, el efecto prebiótico de los fructanos, o las múltiples actividades biológicas que presentan las saponinas y sapogeninas. Sin embargo, mientras la ciencia avanza y nos da la oportunidad de acceder específicamente a los compuestos antes mencionados, sigamos disfrutando de la planta de agave y sus múltiples beneficios, ya sea consumiéndola como alimento y condimento, así como las bebidas elaboradas a partir del agave como el pulque y el aguamiel.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Centro Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la beca otorgada para el estudiante de posdoctorado MARA. Además, agradecen a la Universidad Autónoma Metropolitana por el financiamiento para la elaboración de este trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez-Chávez, J., Villamiel, M., Santos-Zea, L. & Ramírez-Jiménez, A. K. (2021). Agave by-products: An overview of their nutraceutical value, current applications, and processing methods. *Polysaccharides*, 2(3): 720-743.

Axioma Group S.A.S (2017). Bioplástico mexicano hecho con agave. Tecnología del plástico. [En línea]. Disponible en: <https://www.plastico.com/es/noticias/bioplastico-mexicano-hecho-con-agave>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023

Barrientos-Rivera, G., Esparza-Ibarra, E. L., Segura-Pacheco, H. R., Talavera-Mendoza, Ó., Sampedro-Rosas, M. L. & Hernández-Castro, E. (2019). Caracterización morfológica de *Agave angustifolia* y su conservación en Guerrero, México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 10(3): 655-668.

Bautista-Justo, M., García-Oropeza, L., Corona, J. B. & Parra-Negrete, L. A. (2001). El *Agave tequilana* Weber y la producción de tequila. *Acta Universitaria*. 11(2): 26-34.

CONABIO (2021) Diversidad biológica Magueyes. Biodiversidad mexicana. [En línea]- Disponible en: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/magueyes/diversidad-magueyes>. Fecha de consulta: 2 de febrero 2023.

Carmona, J. E., Morales-Martínez, T. K., Mussatto, S. I., Castillo-Quiroz, D. & Ríos-González, L. J. (2017). Propiedades químicas, estructurales y funcionales de la lechuguilla (*Agave lechuguilla* Torr.). *Revista mexicana de ciencias forestales*. 8(42): 100-122.

Ceja-Ramírez, R., González-Eguiarte, D. R., Ruiz-Corral, J. A., Rendón-Salcido, L. A. & Flores-Garnica, J. G. (2017). Detección de restricciones en la producción de agave azul (*Agave tequilana* Weber var. azul) mediante percepción remota. *Terra Latinoamericana*. 35(3): 259-268.

Cruz, M.S, Barroso, S.C, Navoni, J.A, Teles, M. M. R. S., Barbosa-Filho J.M., de Oliveira-Rocha, H.A., do Amaral, V. S. (2016). Effect of Hecogenin on DNA instability. *Toxicology Reports*. 3: 539-543.

Cruz-Vasconcelos, S. T. (2019). Crecimiento y fisiología de maguey pulquero (*Agave salmiana* Ottoo ex Salm-Dyck) obtenido por semilla. [En línea]. Disponible en <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/3201> Fecha de consulta: 2 de febrero 2023.

Domínguez-Arista, D. R. (2020). Bacanora, mezcal of Sonora: From clandestinity to Denomination of Origin. *Estudios sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*. 30(56):2-23.

Eguiarte, L. & González-González, A. (2007). De genes y magueyes estudio y conservación de los recursos genéticos del tequila y el mezcal. *Ciencias*. 087.

Erlwein, S., Mira-Tapia, J. R. & Velasco- Pegueros. A. (2013). Proceso de elaboración del pulque, su importancia económica y concepción social en Apan, Hidalgo. *Ejercicios etnográficos, aprendiendo a investigar*. [En línea]. Disponible en: <https://www.enah.edu.mx/publicaciones/documentos/32.pdf>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

Escalante, A., Giles-Gómez, M., Esquivel-Flores, G., Matus-Acuña, V., Moreno-Terrazas, R., López-Munguía, A. & Lappe-Oliveras, P. (2011). In Y. H. Hui, E. (Eds) *Pulque Fermentation. Handbook of Plant-Based Fermented Food and Beverage Technology* (pp. 691-706). Boca Ratón, Florida.

Esparza-Ibarra, E. L., Violante-González, J., Monks, S., Cadena-Iñiguez, J., Araujo-Andrade, C. & Rössel-Kipping, E. D. (2015). Los agaves mezcaleros del altiplano Potosino y Zacatecano. *Estudios en biodiversidad*. Volumen I (pp227-245) Zea Books. Lincoln, Nebraska.

Frisby-Morales, A., Córdova-Yáñez, A. & Medina-Ortiz, F. A. (2018). Diversificación en el uso del agave del bacanora: oportunidad económica para Sonora. [En línea]. Disponible en: http://ru.iiiec.unam.mx/4278/1/4-Vol2_Parte2_Eje12_Cap1-039-Frisby-Cordova-Medina.pdf Fecha de consulta. 2 de febrero de 2023.

García-Mendoza, A., Cházaro-Basañez, M. J., Nieto-Sotelo, J., Sánchez-Teyer, L., Tapia, E., Gómez-Leyva, J., Tamayo-Ordoñez, M. Narváez-Zapata, J. A., Rodríguez-Garay, B., Palomino-Hasbach, G.A., Martínez-Ramón, J., Martínez-Rodríguez, J. C., Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., Beltrán-García, M. J., Quí-Zapata, J. A., Guzmán-Mendoza, R., Mercado-Flores, Y., Ragazzo-Sánchez, J. A., Calderón-Santoyo, M. & Gutiérrez-Mora, A. (2017). Panorama del aprovechamiento de los Agaves en México. *Red Temática Mexicana*

Aprovechamiento Integral Sustentable y Biotecnología de los Agaves (pp. 49)
AGARED. México.

García-Núñez, R. M., Galán-Reséndiz, M., Cuevas-Sánchez, J. A. & Álvarez-Hernández, R. (2020). Identificación y caracterización morfológica de agaves en sistemas agroforestales con metepantle en tierras campesinas. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*. 11(4): 917-929.

García-Suárez, M. D. & Serrano, H.. 2021. Agaves de ornato *asparagaceae*. Tecnoagro. 149. [En línea]. Disponible en: <https://tecnoagro.com.mx/no.-149/agaves-de-ornato-asparagaceae>. Fecha de consulta. 2 de febrero de 2023.

González-Elizondo, M. S., González-Elizondo, M., López-Enríquez, I. L., Reséndiz-Rojas, L., Tena-Flores, J. A. & Retana-Rentería, F. I. (2011). El complejo Agave victoriae-reginae (Agavaceae). *Acta botánica mexicana*. (95): 65-94.

González, M. & Ballesteros, A. (2015). Crean muros ecológicos con fibra de agave y hielo seco. Universidad de Guadalajara. Red Universitaria de Jalisco. [En línea]. Disponible en: <https://www.udg.mx/es/noticia/crean-muros-ecologicos-con-fibra-de-agave-y-hielo-seco>. Fecha de consulta 2 de febrero de 2023

Ingawale (Mandlik) D. K. (2020). Saponins and sapogenins of agave with respect to diverse pharmacological role of hecogenin: Pharmacological Role of Hecogenin. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 12(2): 1–7.

Lara, L. (2020). Concreto con adición de fibras de *Agave americana* L. y su influencia en la resistencia a esfuerzos axiales, en San Carlos - Huancayo. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7479>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

López-Montúfar, A. & Anzures-Jaimes, N. (2014). El registro arqueológico e histórico del maguey. *Arqueología Mexicana*. 57: 12-13.

Montañez-Soto, J., Venegas-González, J., Vivar-Vera, M. & Ramos-Ramírez, E. (2011). Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del *Agave tequilana* Weber azul. *Bioagro*. 23(3): 199-206.

Onofre-Sánchez, J., Testón-Franco, N. & Pinón-Vargas, M. (2022). La entomofagia y florifagia en el Valle del Mezquital, Hidalgo México, valor cultural y uso alimentario. *Sosquua*. 4(1): 9–21.

Padilla-Camberos, E., Arrizon, J. & Sandoval, G. (2023). Effect of Agave Fructan Bioconjugates on Metabolic Syndrome Parameters in a Murine Model. *Pharmaceuticals*. 16(3): 412.

Paneque-Escalona, T., Polanco-Arias, M., Jiménez-Nogueras, C. & Piquera-Palomino, Y. (2019). Estudio etnofarmacológico de algunas especies endémicas de agave utilizados en la medicina tradicional. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/8297>. Fecha de consulta. 2 de febrero de 2023.

Pineda-Tapia, F. J., Villarruel-López, A. & Iñiguez-Muñoz, L. E. (2022). Efectos de los fructanos del Agave mexicano como potencial prebiótico y su importancia en la microbiota humana. *Acta de Ciencia en Salud*. 16: 39-44.

Ramírez-Tobías, H. M., Pena-Valdivia, C. B. & Aguirre, J. R. (2014). Biochemical and physiological responses of Agave Species to moisture restriction. *Botanical Sciences*. 92(1): 131-139.

REZPIRAL (2020). [En línea]. Disponible en: <https://rezpiral.com/rezidency/4-casas-de-maguey-bio-construccion-con-marco-sanchez/>. Fecha de consulta. 6 de febrero de 2023

Rodríguez-Juarez, F.A., Carrasco-Urbina, H. S. & Hernández-Zapata, A. (2021). Pulque: contenido probiótico y potencial en la industria biotecnológica. *RD-ICUAP*. 7(20): 95-110.

Ruíz-Serrano (2019). Conformación de bloques de adobe con residuos de agave "Angustifolia Haw". Estrategia para el desarrollo Local sustentable en Santa María La Asunción, Zumpahuacán, Estado de México. [En línea]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/handle/20.500.11799/105029>. Fecha de consulta 2 de febrero de 2023.

SAGARPA (2015). Pulque, bebida de Dioses. Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/pulque-bebida-de-dioses#:~:text=El%20pulque%20es%20tan%20famoso,%2C%20Tlaxcala%2C%20Morelos%20y%20Michoac%C3%A1n>. Fecha de consulta. 2 de febrero de 2023

SEMARNAT (2018). México, biodiversidad que asombra. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/semarnat/articulos/mexico-biodiversidad-que-asombra>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023

SEMARNAT (2019). Experiencias de agroforestería. [En línea]. Disponible en: <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/106048/EXPERIENCIAS%20D%20AGROFORESTER%20C3%8DA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

Serrano, M. R. & Pérez, J. I. J. (2022). Elaboración de adobes con fibras de Agave angustifolia Haw. en Zumpahuacán, Estado de México. Estrategia para promover el desarrollo local sostenible. *Contexto Humano*. 1(1): 43-55.

SIAP (2018a). El quiote y sus flores, las delicias del maguey. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/el-quiote-y-sus-flores-las-delicias-del-maguey?idiom=es>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

SIAP (2018b). Pulque bendito, dulce tormento ¿Qué haces afuera? ¡Vamos pa' dentro!. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. [En línea]. Disponible

en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/maguey-pulquero?idiom=es>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

Viniegra-González, G. (2019). El metepantle (milpa entre magueyes) antiguo sistema con futuro sostenible. Investigación y desarrollo. [En línea]. Disponible en: <https://invdes.com.mx/politica-cyt-i/el-metepantle-milpa-entre-magueyes-antiguo-sistema-con-futuro-sostenible/>. Fecha de consulta: 2 de febrero de 2023.

“Nearshoring” oportunidad y riesgo en la Educación Superior en Saltillo.

Nearshoring, opportunity and risk for tertiary education in
Saltillo.

Félix Rubén Lostal Martínez
Dr. en Administración
Director de Planta de Mubea de México
Bulevar Industria de la Transformación nº3090
Ramos Arizpe 25900 (Coahuila)
inglostal@yahoo.es
Cel. 8441737894
ORCID 0000-0001-9689-4456

Resumen

"Nearshoring" se refiere a la externalización de producción a países cercanos en lugar de lejanos, lo que ofrece beneficios como la creación de empleo, inversión en infraestructura y transferencia de conocimientos. Sin embargo, el crecimiento desmedido de las ciudades donde se establecen las empresas puede llevar al colapso de su infraestructura y servicios públicos, lo que puede tener consecuencias negativas en la calidad de vida de los ciudadanos. Para ello es importante desarrollar una sociedad preparada y capaz de garantizar el desarrollo sostenible.

Este trabajo quiere poner de manifiesto la situación actual de Saltillo con una población que tiene solo un 26% de personas con educación (DATAMEXICO, 2023) frente al 40% de la OCDE (OECD, 2023) y que se necesita para alcanzar ese objetivo del 40% para el 2030 a través de unos objetivos SMART y ser una ciudad que ofrezca un crecimiento basado en el desarrollo de su población tanto a nivel urbano, social como sanitario.

Palabras clave

nearshoring, empleo, crecimiento, planificación, educación.

Clasificación JEL

E24, Q56, R58, I12

Abstract

"Nearshoring" refers to outsourcing production to countries that are close by rather than far away, offering benefits such as job creation, infrastructure investment, and knowledge transfer. However, the excessive growth of cities where companies have strengthened can lead to the collapse of their infrastructure and public services, which can have negative consequences on the quality of life of citizens. For this, it

is important to develop a society prepared and capable of guaranteeing sustainable development.

This work wants to highlight the current situation of Saltillo with a population that has only 26% (DATAMEXICO, 2023) of people with education compared to 40% of the OECD (OECD, 2023) and what is needed to achieve that goal of 40% by 2030 through some objectives. SMART and being a city that offers growth based on the development of its population both at an urban, social and health level..

Keywords

nearshoring, employment, growth, planning, education.

JEL classification

E24, Q56, R58, I12

Introducción

Con la llegada del 2020 se produce una situación que no entraba en los planes de contingencias de ninguna empresa, surge la pandemia de la COVID-19 y de pronto el mundo se paraliza de una manera que no había sucedido en la época contemporánea. Las cadenas de suministro sufren un colapso inesperado, del cual, y estando en el 2023 todavía se están recuperando, y to esto fue debido al aislamiento al cual se someto a la sociedad tal como nos dice Marinucci:

Las medidas de aislamiento social adoptadas por los gobiernos -también llamadas medidas de bloqueos o cuarentena según el país-, incluyeron cierre de actividades económicas no esenciales, restricciones a la circulación de personas y cierre de fronteras, tanto en los países afectados por el virus como en aquellos que buscaban prevenir sus efectos. Tales medidas generaron efectos económicos adversos como caída de ventas, cierre de comercios, industrias o caída en la producción (Marinucci, 2021).

Esta situación lo que conlleva es a ver las relaciones internacionales desde una nueva perspectiva, en las últimas décadas se trabajó en la globalización como el eje principal de la economía y el comercio

La globalización se refiere a la creciente interconexión e interdependencia de los países y economías a nivel mundial. Es el resultado de la disminución de barreras comerciales y de inversión, así como de la revolución tecnológica que ha permitido una mayor comunicación y movimiento de bienes, servicios, capital y personas a través de las fronteras.

Ha sido un factor clave en el desarrollo económico de muchos países alrededor del mundo. Ha permitido a los países expandir sus mercados más allá de sus fronteras nacionales, lo que ha llevado a un aumento en la producción, la inversión y el comercio. Además, la globalización ha permitido a los países especializarse en la producción de bienes y servicios en los que tienen una ventaja comparativa, lo que ha llevado a una mayor eficiencia en la asignación de recursos y a un aumento en la productividad.

También, ha llevado a una mayor competencia entre las empresas, lo que ha llevado a una mayor innovación y a una mejora en la calidad de los productos y servicios. Además, la globalización ha permitido a los países acceder a una variedad de recursos y tecnologías que de otra manera podrían ser inaccesibles, lo que ha acelerado el desarrollo económico.

Todo ello significa que la sociedad actual ya no depende de lo que ocurre en su área de influencia, sino que por el contrario está a merced de lo que ocurre a un nivel macroeconómico sin precedentes.

China se convirtió el número uno de los grandes jugadores a nivel mundial en el comercio internacional tal como nos dice el reporte del Banco Santander en su reporte de Trade Markets (Banco Santander, 2023):

Gracias a su enorme superávit comercial de los últimos años, China se ha vuelto el mayor exportador del mundo y es el segundo mayor importador. A pesar de sus estrictas políticas, el país está bastante abierto al comercio exterior, que representó el 35% del PIB en 2020 (Banco Mundial, 2022). Las principales exportaciones de China incluyen equipos eléctricos y electrónicos (27%), maquinaria, reactores nucleares, calderas (17%), muebles, rótulos luminosos, edificios prefabricados (4,2%), plásticos (3,7%), aparatos ópticos, fotográficos, técnicos y médicos (3,1%), vehículos distintos de los ferroviarios, tranvías (2,9%), demás artículos textiles confeccionados, conjuntos, ropa usada (2,9%). Por otro lado, el país importa principalmente equipos eléctricos y electrónicos (27%), combustibles minerales, aceites, productos de destilación (13%), maquinaria, reactores nucleares, calderas (9,3%), escorias y cenizas de minerales de hierro (8,8%), aparatos ópticos, fotográficos, técnicos y médicos (4,8%), vehículos distintos de los ferroviarios y tranvías (3,6%). El FMI prevé un repunte del 5,7% en el volumen de las exportaciones de bienes y servicios de este país en 2022, tras un aumento del 4% en 2020; y un aumento de sólo el 3,2% de sus importaciones en 2022 tras un salto del 10,9% en 2021 y del 0% en 2020 (Informe por país del FMI, 2021).

Los principales socios del país son Estados Unidos, Hong Kong, Japón, Corea del Sur, Vietnam, Australia y Alemania. El aumento de las tensiones en la relación económica entre Estados Unidos y China incrementó las incertidumbres comerciales en 2020, dado que Estados Unidos es el principal socio comercial del país

Por lo que la disrupción de las cadenas de suministro y el cierre de las fronteras realizado por China afectó de una manera muy importante a la economía mundial alargando los plazos de entrega de las materias provenientes de ese país.

China y Estados Unidos han tenido siempre una relación particularmente extraña como demuestra el siguiente texto (The Open University, 2016):

En materia económica, China y Estados Unidos han desarrollado vínculos densos y extensos. El comercio total de bienes y servicios entre China y Estados Unidos (importaciones de Estados Unidos desde China más exportaciones de Estados

Unidos a China) ascendió a más de 550 000 millones de dólares estadounidenses en 2011 (Oficina del Censo de Estados Unidos, 2013), siendo China el mayor proveedor de importaciones y servicios de Estados Unidos. su tercer mayor mercado de exportación. Durante muchos años, China ha sido un importante acreedor de los Estados Unidos, con una deuda estadounidense sustancial. Mientras que algunos toman esos vínculos como signos de una cooperación floreciente, otros se enfocan en los conflictos que generan tales relaciones: Estados Unidos teme que su déficit comercial con China sea una fuente de debilidad; China teme el potencial proteccionismo de EE.UU.

En materia de política exterior, los temas relacionados con los derechos humanos y el tratamiento de las minorías religiosas y étnicas, así como las posiciones en disputa de Taiwán y el Tíbet, han sido puntos álgidos en las relaciones entre China y Estados Unidos. Las críticas de China a la política exterior de EE. UU. en el Medio Oriente y en otros lugares y los desacuerdos en el Consejo de Seguridad de la ONU en el que ambos son miembros permanentes con veto, han creado tensiones en ocasiones. La tensa relación de China con algunos de los aliados más cercanos de Estados Unidos en el sur y el este de Asia, entre ellos Japón y Corea del Sur, también plantea problemas militares y de seguridad que no se manejan fácilmente. Si bien ambos comparten intereses comunes en la estabilidad de la región, el creciente gasto militar de China y el apoyo de EE. UU. a Taiwán (que China reclama como parte de su propio territorio) crean mucho espacio para la sospecha y la desconfianza. Los reclamos de China sobre el territorio en manos de Japón y Vietnam (las islas Diaoyu/Senkaku y Spratly, respectivamente) y los derechos en los mares de China Meridional también son posibles puntos críticos. Tanto en China como en Estados Unidos, los analistas están lidiando con preguntas sobre hasta qué punto la futura relación se basará en la cooperación o el conflicto.

Y los acontecimientos de los últimos años entre ambos países mas la disrupción de las cadenas logísticas han hecho repensar la estrategia de “offshoring” llevada a cabo por muchas empresas en el continente americano, pasando ahora a la nueva tendencia del “nearshoring” la cual es una práctica

empresarial que implica la externalización de actividades comerciales o de producción a empresas ubicadas en países cercanos geográficamente, en lugar de países más alejados, como ocurre en el “offshoring”. Es decir, las empresas contratan servicios o producciones en países que están en la misma región o en la misma zona horaria, lo que permite una mayor cercanía y una mejor coordinación.

El “nearshoring” se utiliza a menudo en el contexto de las empresas que buscan reducir costos y aumentar la eficiencia, al tiempo que mantienen una calidad y un control más cercano sobre sus operaciones. Al elegir países cercanos, se pueden obtener ventajas como costos laborales más bajos, una mayor facilidad de comunicación, una mayor cercanía cultural y geográfica, una mayor flexibilidad y la posibilidad de tener un mayor control sobre la calidad y los plazos de entrega.

Comúnmente se utiliza también en la industria manufacturera y de servicios, como la tecnología de la información, el soporte técnico, la contabilidad, el diseño y la ingeniería, entre otros. Los países que suelen ser destino del “nearshoring” son aquellos que tienen una fuerza laboral altamente capacitada, una infraestructura de comunicaciones sólida y una economía estable. Algunos ejemplos de países que atraen actividades de “nearshoring” son México para Estados Unidos, Portugal para España o Marruecos para Francia.

Por lo que se puede decir que el “nearshoring” es una práctica empresarial que se centra en externalizar actividades a países cercanos geográficamente, con el objetivo de reducir costos, aumentar la eficiencia y mantener un control más cercano sobre las operaciones.

Y en este punto es donde Saltillo y la región Sureste de Coahuila cobran una fuerza que la está llevando a un crecimiento industrial muy rápido.

Marco de Referencia

Desde un punto simplista cualquier crecimiento es bueno y deseable para cualquier ciudad y región porque de una forma directa o indirecta eso significa un

desarrollo económico y social para la sociedad, por lo que se debe de entender el cómo, el cuándo, el para qué y el porqué de este crecimiento.

Antecedentes

Para poder poner en perspectiva la situación actual del “nearshoring” en Saltillo, es necesario conocer cómo ha evolucionado la ciudad a lo largo de los últimos años. En la introducción se vio cuáles son las causas de este movimiento y ahora es necesario poner de manifiesto el porqué de Saltillo como área detonante para el “nearshoring”

Crecimiento demográfico.

Saltillo como principal exponente de la Región Sureste de Coahuila ha crecido exponencialmente a lo largo del siglo XX y lo que se lleva del siglo XXI, como se puede observar en la

Figura 1 a partir de datos del INEGI (INEGI, 2023). En un crecimiento exponencial, la tasa de crecimiento de la población es proporcional al tamaño actual de la población. Esto significa que cuanto más grande es la población, mayor será la tasa de crecimiento y, por lo tanto, más rápido se producirá el aumento de la población y si Saltillo en 2030 tendrá una población cercana a



Figura 1. Población de Saltillo. Fuente propia sobre datos del INEGI.

Económicos

Al hablar de “nearshoring”, se tiene que hablar de la situación actual de las ventas que Saltillo hace al exterior, en el año 2021 fueron de 2.008 millones de dólares de los cuales 1.775 millones de dólares fueron vendidos a Estados Unidos, lo que representa el 88,3% de sus ventas totales según Data México (Data México, 2022), lo que indica que el principal socio económico de Saltillo son los Estados Unidos.

En la **Figura 2** (Data México, 2022) **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se observa como ha sido la evolución del comercio internacional de Saltillo con el extranjero y se puede observar que su crecimiento tiene también una clara tendencia logarítmica que solo se ve truncada por la crisis producida por la COVID-19

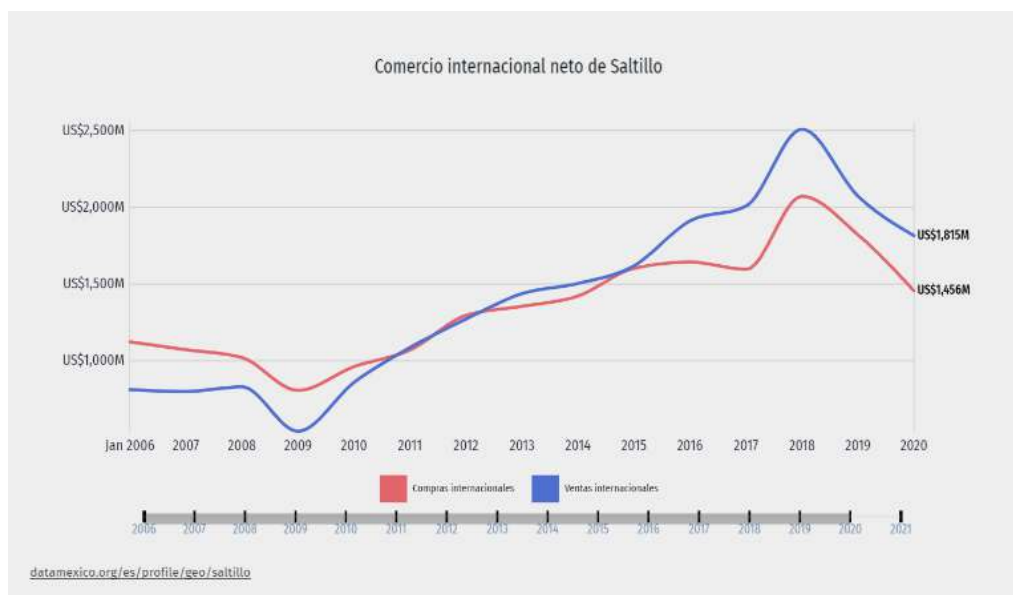


Figura 2. Comercio internacional de Saltillo (Data México, 2022).

Transporte por carretera

Uno de los principales indicadores para evaluar el crecimiento de una región es entender como han evoluciona sus comunicaciones, y en este caso con la información del flujo vehicular de la Secretaría de Comunicación y Transportes y sus series del 2004, 2008, 2012 y 2022 (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004-2008-2012-2022), se obtiene la siguiente **Figura 3**, donde se observa también un crecimiento exponencial en el flujo vehicular

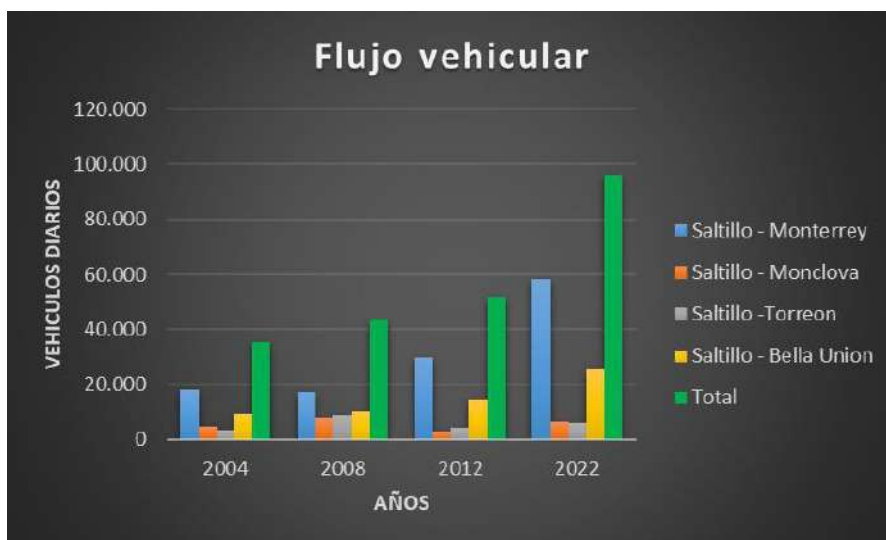


Figura 3. Flujo vehicular. Datos (Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 2004-2008-2012-2022).

Haciendo una recapitulación de los indicadores que se acaban de revisar y revisando los datos de la última década se pude hacer el siguiente resumen:

- Crecimiento demográfico entre el 2010 y el 2020.
 - 21,8%
- Crecimiento de comercio internacional entre el 2010 y el 2020.
 - 111,0%
- Crecimiento de flujo vehicular entre 2012 y 2022.

- 85%

La información anterior sirve para ver cuál ha sido el crecimiento de la ciudad de Saltillo en los últimos años sin el efecto del “nearshoring”.

Los 17 objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030

Saltillo ha crecido de una manera exponencial a lo largo de las últimas décadas, y el crecimiento en estas condiciones viene acompañado de múltiples retos. Esos retos también fueron plasmados por la ONU a través de su agenda 2030 donde se han definido 17 objetivos para un desarrollo sustentable de la sociedad.

Estos objetivos son (ONU, 2018):

1. Fin de la pobreza.
2. Hambre cero.
3. Salud y bienestar.
4. Educación de calidad.
5. Igualdad de género.
6. Agua limpia y saneamiento.
7. Energía asequible y no contaminante.
8. Trabajo decente y crecimiento económico.
9. Industria, innovación e infraestructura.
10. Reducción de las desigualdades.
11. Ciudades y comunidades sustentables.
12. Producción y consumo responsable.
13. Acción por el clima.
14. Vida submarina.
15. Vida de ecosistemas terrestres.
16. Paz, justicia e instituciones sólidas.
17. Alianza para lograr los objetivos.

Los objetivos aquí enlistados son puntos básicos a la hora de analizar los efectos del “nearshoring” en la región Sureste de Coahuila, uno de ellos se da como resultado directo, el cual es el número 8, “trabajo decente y crecimiento económico”.

Pero. ¿Y los demás? Ese es el principal tema que se debe de abordar con el “nearshoring” en la zona de Saltillo y la Región Sureste de Coahuila. Tener un crecimiento y un desarrollo económico, sí, pero este no puede ser a cualquier precio.

Italia, para entender como estaba contra los objetivos de la Agenda 2030 los dividió en tres grupos y dentro de cada grupo, por región para tener una visión más clara de los que estaba sucediendo, como una buena aproximación, estos grupos eran (D’Adamo, Gastaldi, Imbriani, & Morone, 2021) como se observa en la **Figura 4**:

1. Grupo social
2. Grupo económico
3. Grupo ambiental



Figura 4. Objetivos 2030 (D’Adamo, Gastaldi, Imbriani, & Morone, 2021).

Nearshoring

El Banco de México en su reporte “México frente a la re-globalización” dice: El 18.8% de empresas del sector manufacturero espera incrementos en su producción en los próximos 12 meses. Mientras que el 15.9% espera aumentos en su inversión (Banco de México, 2022).

Y como se observa en la **Figura 5** (Banco de México, 2022), la empresas de la zona norte de México son las que esperan los mayores niveles de aumento de producción y de inversión según los datos del Banco de México (Banco de México, 2022).

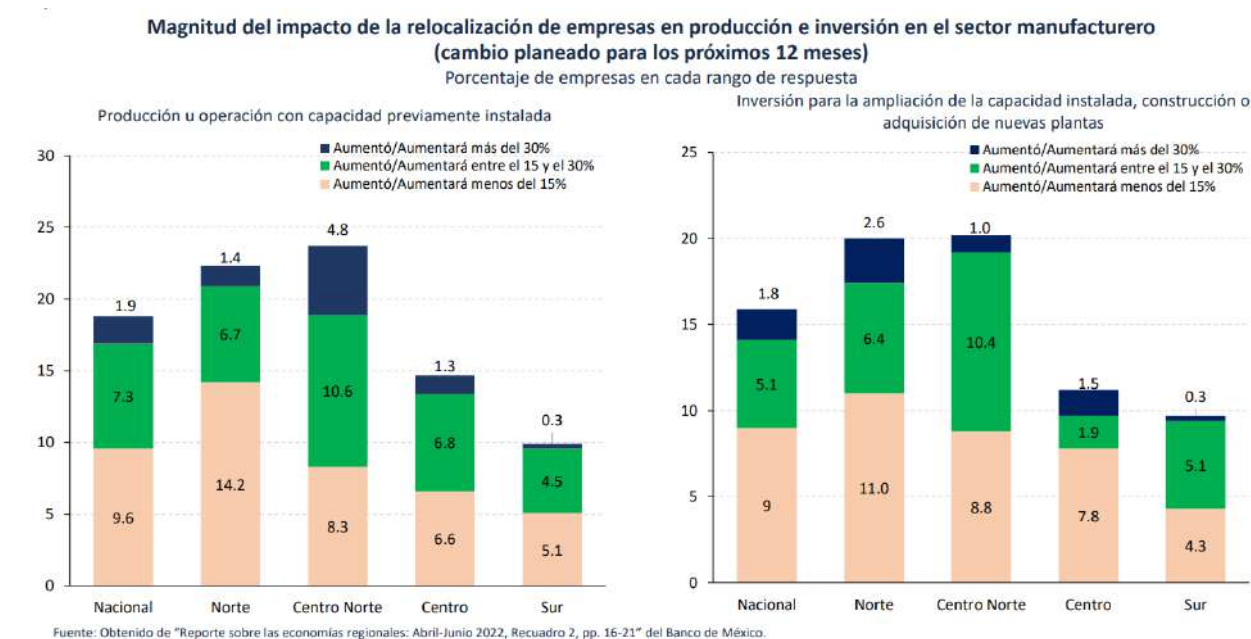
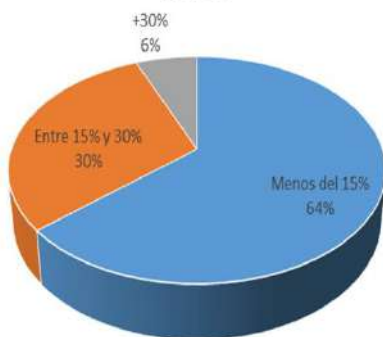


Figura 5. Impacto del nearshoring en México (Banco de México, 2022).

Aumento de producción en el 2023 en Zona

Norte



Inversión en capacidad en el 2023 en Zona

Norte

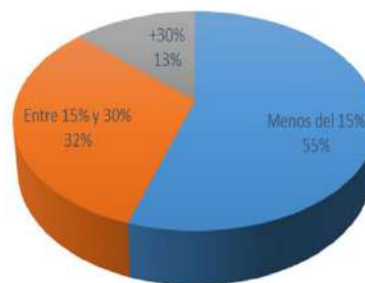


Figura 6. Aumento de producción e inversión. Creación propia con Datos de Banxico.

Como se puede observar en la **Figura 6** el año 2023 va a ser un parteaguas en cuanto a la inversión en Saltillo, puesto que la inversión aumentara de promedio un 15% para las empresas y para las empresas existentes habrá un incremento de un 14% de producción con la capacidad instalada. Desarrollo

El “nearshoring” va a producir una aceleración del crecimiento exponencial que ha tendido Saltillo en las últimas décadas. Pero qué pasa si este crecimiento se produce de una forma muy rápida y desmedida. El crecimiento desmedido de las grandes ciudades puede llevar al colapso de su infraestructura, servicios públicos y calidad de vida de los ciudadanos. Este crecimiento se produce cuando las ciudades se expanden rápidamente sin una planificación adecuada, sin la debida inversión en infraestructura y servicios públicos, y sin considerar los impactos sociales, económicos y ambientales a largo plazo.

Por todo ello la educación superior es un factor clave para el desarrollo económico y social de un país. Sin embargo, México enfrenta grandes desafíos para mejorar la calidad, la cobertura y la pertinencia de su oferta educativa a nivel superior. Para poder adaptarse a esa situación, Saltillo debe desarrollar su estructura de educación, aprovechando sus ventajas competitivas y respondiendo a las demandas del mercado laboral.

México es uno de los países con menor nivel de educación superior como se puede observar en la siguiente **Figura 7** donde se ve que la educación superior en México apenas alcanza el 20% de la población total del país, muy por debajo de la media de la OCDE que es del 40% (OECD, 2023) Esta brecha se debe en parte a las limitaciones de acceso, financiamiento y calidad que afectan al sistema educativo mexicano.

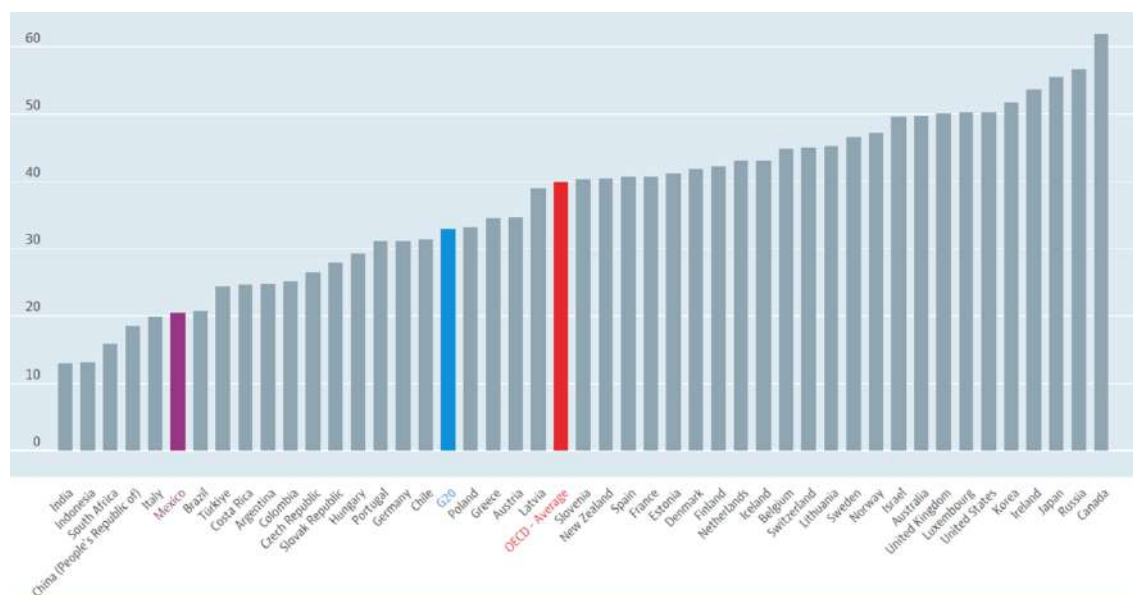


Figura 7. Nivel de educación superior (OECD, 2023).

Y a nivel de menores de 34 años la situación no es muy diferente como se puede observar en la siguiente **Figura 8** con datos de la OCDE (OECD, 2023) donde se puede observar que México tiene un nivel del 27% con educación superior. Esto significa que hay una brecha generacional en el acceso a la educación superior, ya que los jóvenes tienen más oportunidades de estudiar una carrera que sus padres o abuelos. Además, hay una gran desigualdad regional y social en la distribución de la educación superior, pues los estados del norte y del centro tienen mayores niveles que los del sur y el sureste, y los sectores más pobres y marginados tienen menos acceso que los más ricos y urbanos.

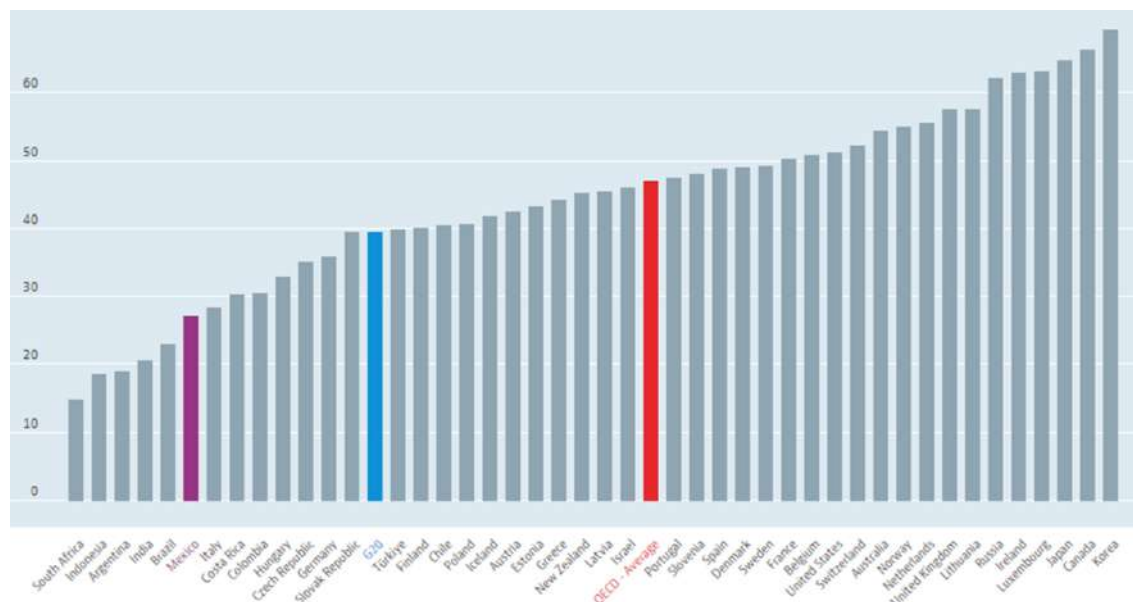
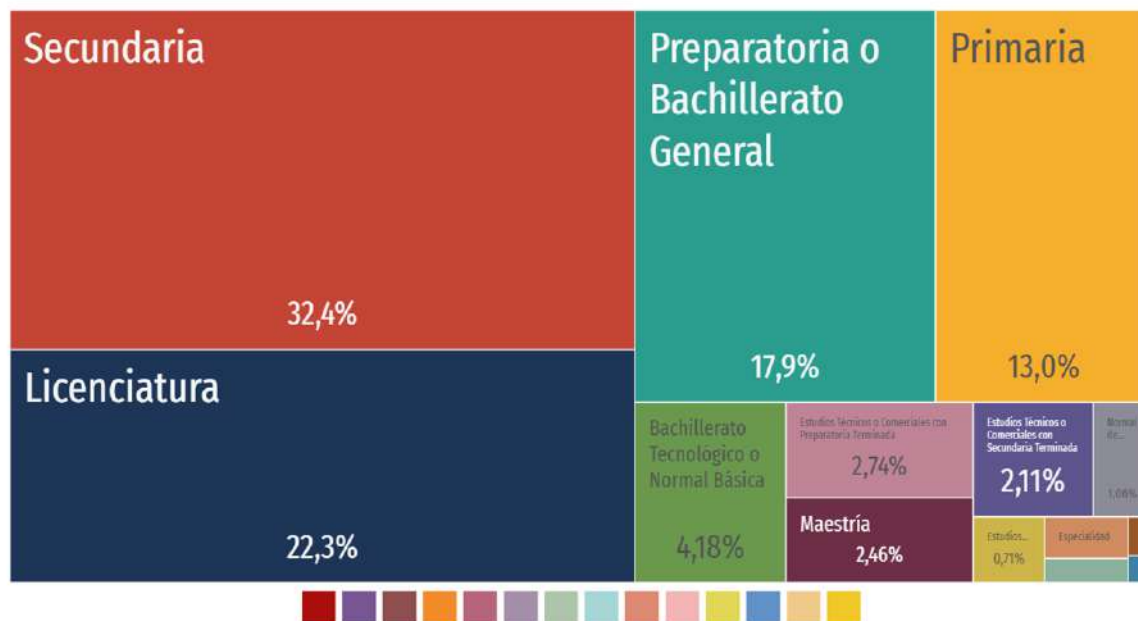


Figura 8. Nivel de educación superior menores de 34 años (OECD, 2023).

En Saltillo la situación no es mucho mejor, aunque el nivel de educación superior es superior al 26% como se puede observar a continuación en la **Figura 9** (DATAMEXICO, 2023).

Niveles de escolaridad de la población de 15 años y más en Saltillo
(Distribución de la población total)



datamexico.org/es/profile/geo/salttillo

Figura 9. Nivel de educación en Saltillo (DATAMEXICO, 2023).

Saltillo es una ciudad que se destaca por su desarrollo industrial y educativo. Entre las carreras más demandadas por los estudiantes de esta ciudad se encuentran las ingenierías, la administración de negocios y las ciencias sociales. Estas áreas del conocimiento reflejan los intereses y las necesidades de la población saltillense, así como las oportunidades laborales que ofrece el mercado local y nacional. La **Figura 10** muestra la cantidad de estudiantes que se inscriben en cada una de estas carreras en las principales instituciones de educación superior de Saltillo (DATAMEXICO, 2023).

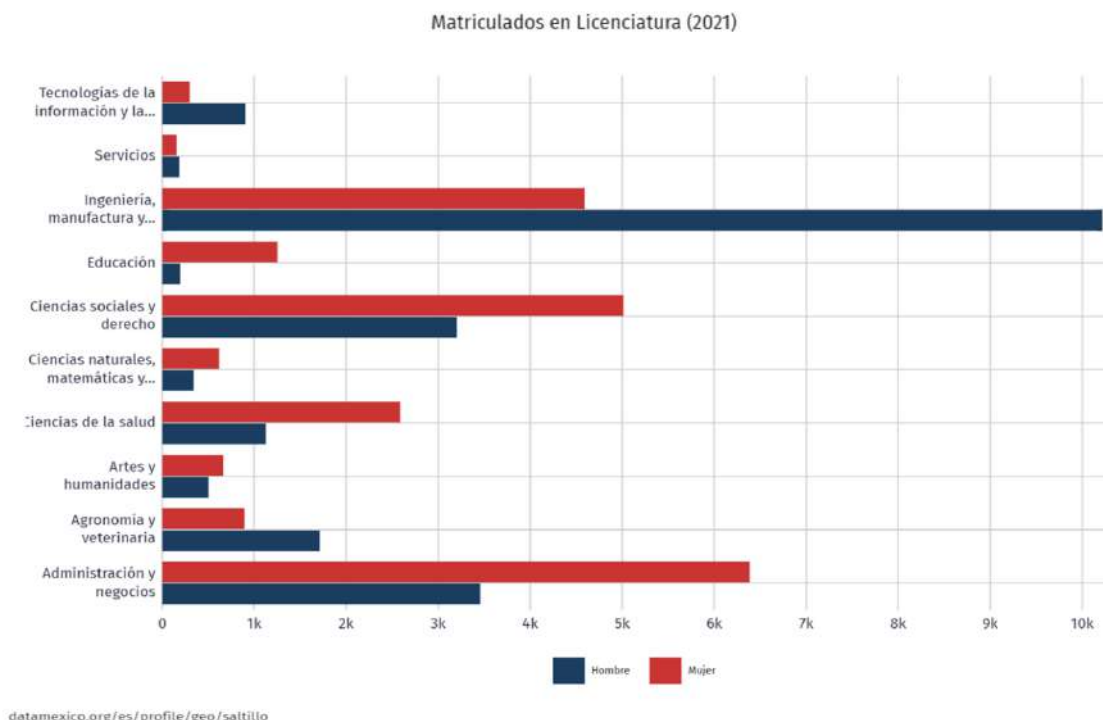
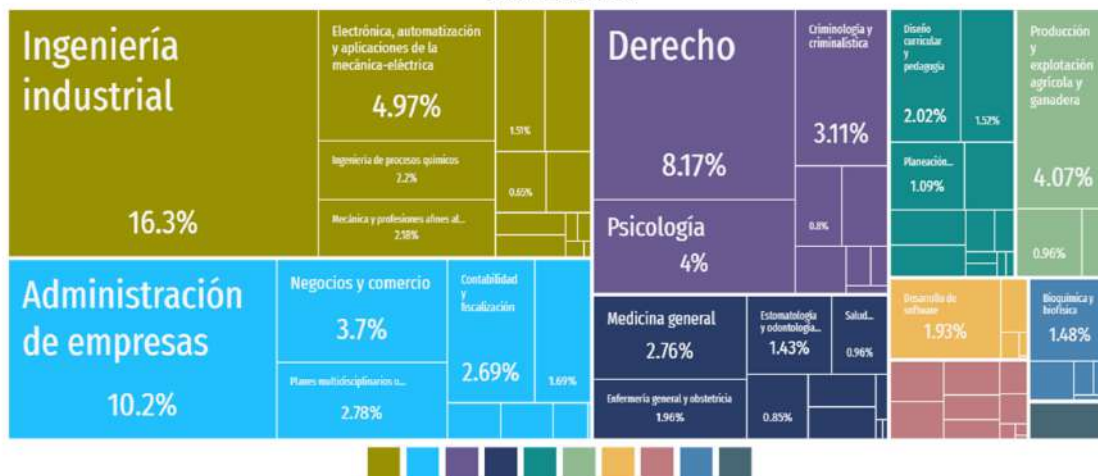


*Figura 10 .Alumnos matriculados en Educacion Superior en Saltillo (DATAMEXICO, 2023).
 Educación Saltillo*

Y si se desglosa por cada uno de los rubros principales de los que se estudia en las universidades en Saltillo que se han descrito antes tenemos la información que se presenta en la **Figura 11** (DATAMEXICO, 2023). En esta figura se puede observar que el área de ingeniería es la que mayor demanda tiene. Le sigue el área de administración de empresas y ciencias sociales como se observa en el **Figura 11** (DATAMEXICO, 2023). Estos datos reflejan las preferencias y las oportunidades laborales de los jóvenes que eligen estudiar en Saltillo.

Matrículas según campo de formación en Saltillo
(Totales 2021)

Estudiantes: 50.3k



datamexico.org/es/profile/geo/salttillo

Figura 11. Porcentaje de alumnos matriculados por carrera (Data México, 2022). Educación Saltillo

Pero se sabe si las carreras universitarias que se están estudiando son las carreras del futuro:

Recientemente en el evento “Megatendencias 2023” (Monroy-Robles, 2023) del Consejo de Vinculación Universidad-Empresa de COPARMEX Coahuila Sureste se presentaron las 16 carreras del futuro para Saltillo y la lista es la siguiente:

1. Ingeniero en robótica y automatización.
2. Ingeniería ambiental.
3. Diseño industrial y de manufactura aditiva.
4. Ingeniería agroindustrial.
5. Ingeniería aeronáutica.
6. Licenciatura en marketing digital.
7. Ingeniería en tecnologías de información.
8. Ingeniería en biotecnología.
9. Ingeniería en mecatrónica.
10. Licenciatura en enfermería geriátrica.

11. Licenciatura en contaduría pública y finanzas
12. Licenciatura en administración de medios digitales.
13. Ingeniería en vehículos eléctricos y sistemas eléctricos y autónomos.
14. Ingeniero geofísico.
15. Ingeniería en logística.
16. Licenciatura en derecho internacional.

¿Y por qué se necesita aumentar las capacidades de Saltillo para los próximos años? Un gráfico que lo puede explicar es la siguiente **Figura 12**, donde se explica usando datos del INEGI (INEGI, 2023) y de Autocosmos (Hernandez, 5) donde se muestra que México es tan eficiente como los principales países productores de vehículos en el mundo, solo tiene un limitante, es la cantidad de egresados de educación superior. Para poder producir más vehículos y más productos industriales en general, se necesitan más egresados de educación superior y ser un país que puede ser más que un país LCC (Low Cost Country) por su mano de obra. Y no por su mano de obra cualificada.



Figura 12. Producción de automóviles por profesionista. Información propia.

Con toda esta información ¿Qué es lo que se tiene que hacer en Saltillo?

Las Universidades de Saltillo y la iniciativa privada necesitan tener claro cuáles son las necesidades para los próximos años y definir unos objetivos SMART en cantidad de egresados a producir para alcanzar al menos el promedio actual de la OCDE de una población con el 40% con Educación Superior para el año 2030, o Saltillo va a sufrir para continuar su crecimiento como una sociedad industrial avanzada. En la *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* se ven las necesidades mínimas de egresados por año para alcanzar ese objetivo del 40% de población con Educación Superior para el año 2030 en el cual se espera que haya 1.200.000 habitantes en Saltillo

Tabla 1 Necesidad de egresados

Año	Población	Necesidad de Nuevos Egresados	Población con Educación superior	% Población con Educación Superior
2022 Real	878.858	10.344	228.503	26%
2023	919.001	13.595	242.098	26%
2024	959.144	16.846	258.944	27%
2025	999.286	20.097	279.041	28%
2026	1.039.429	23.348	302.389	29%
2027	1.079.572	26.599	328.988	30%
2028	1.119.715	29.850	358.838	32%
2029	1.159.857	33.101	391.939	34%
2030	1.200.000	36.352	480.000	40%

La representación gráfica de lo que se necesita y cuál es su evolución mínima año con año se puede observar en la **Figura 13**. En el año 2022 la cantidad de egresados en la región Sureste de Coahuila fue de 10.334 (Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Nivel Superior, 2023), muy alejado de la necesidad de la ciudad.



Figura 13. Necesidad de egresados. Creación propia.

Para alcanzar estos objetivos es necesario un plan estratégico detallado y extenso para lograr que Saltillo aumente su tasa de titulación superior al 40% en 2030 siendo sus indicadores clave SMART:

- S. Específico. 40% educación superior en 2030
- M. Medible. Progreso anual.
- Alcanzable. El 40% es para esta a la par de la OCDE como país desarrollado que quiere ser México y con el potencial de crecimiento que tiene.
- R. Relevante. Saltillo necesita desarrollar su nivel educativo para desarrollarse a futuro y no ser un punto de paso de simple maquila.
- T. En tiempo. En el 2030

Análisis y diagnóstico de la situación actual:

El primer paso para desarrollar un plan estratégico es analizar la situación actual. Se deben llevar a cabo estudios y análisis que permitan conocer la situación demográfica, económica y social de la ciudad. Esto incluye la identificación de las

áreas en las que existe una mayor demanda laboral, el nivel educativo de la población y las necesidades específicas de las empresas locales.

Además, es importante evaluar los programas y proyectos existentes que buscan fomentar la educación y el desarrollo de habilidades en la población. Esta evaluación permitirá identificar qué programas y proyectos están funcionando y cuáles necesitan ser fortalecidos o replanteados.

Este documento puede ser un punto de partida y de referencia para los siguientes pasos.

Identificación de los sectores económicos y el potencial del “nearshoring”:

Saltillo cuenta con un importante potencial en la industria automotriz, de manufactura y tecnológica, lo que convierte a la ciudad en un destino atractivo para el “nearshoring” como se ha podido observar en el crecimiento esperado en el 2023 para la zona Norte de México (Banco de México, 2022). Es necesario identificar los sectores económicos con mayor potencial y desarrollar estrategias para aprovechar esta oportunidad.

Se deben llevar a cabo estudios de mercado más profundos que permitan identificar las necesidades y demandas de las empresas locales y extranjeras. También se debe establecer contacto con cámaras empresariales, organismos de gobierno y otras instituciones que puedan proporcionar información valiosa.

Desarrollo de un programa integral de becas y financiamiento:

Uno de los principales obstáculos para que la población tenga acceso a la educación superior es el costo. Por lo tanto, es necesario desarrollar un programa integral de becas y financiamiento que permita a los estudiantes obtener la educación que necesitan sin preocuparse por el costo.

Este programa debe estar diseñado para atender las necesidades específicas de la población. Por ejemplo, se pueden establecer becas para

estudiantes con bajos recursos económicos, para aquellos que desean estudiar carreras específicas o para aquellos que han tenido buen desempeño académico.

Además, se pueden establecer acuerdos con instituciones bancarias y financieras para ofrecer préstamos estudiantiles con tasas de interés preferenciales.

Fomento de la educación técnica y profesional:

Pero no todo es la educación universitaria, es importante fomentar la educación técnica y profesional que permita a la población desarrollar habilidades y conocimientos específicos que se requieren en los sectores económicos con mayor potencial y permitir que estas personas se desarrollen a futuro para acceder al nivel superior de educación.

Buscar y establecer convenios y alianzas con instituciones de educación técnica y profesional para ofrecer programas de capacitación y formación en habilidades específicas. Estos programas pueden ser diseñados en colaboración con empresas locales y extranjeras para asegurar que los estudiantes estén adquiriendo las habilidades necesarias para la demanda laboral.

Saltillo y por ende la región Sureste de Coahuila es una ciudad industrial, enfocada en el sector automotriz, más debe abrirse a mas sectores estratégicos para reforzar su entramado industrial y evitar crisis por caídas del sector principal como ha sucedido en anteriores ocasiones.

Creación de alianzas estratégicas entre empresas y universidades:

La creación de alianzas entre empresas y universidades es fundamental para el desarrollo de la educación y la formación de habilidades específicas. Estas alianzas pueden generar oportunidades de prácticas profesionales, proyectos conjuntos y programas de capacitación.

Para establecer estas alianzas, se pueden llevar a cabo mesas de trabajo con empresas locales y extranjeras y con universidades de la ciudad. Se deben

identificar las necesidades específicas de las empresas y las habilidades que los estudiantes deben adquirir para satisfacer estas necesidades. A partir de esto, se pueden diseñar programas de formación y prácticas profesionales que permitan a los estudiantes desarrollar habilidades específicas y al mismo tiempo ayudar a las empresas a cubrir sus necesidades laborales.

Promoción de la educación en la comunidad:

Es importante promover la educación en la comunidad para generar conciencia sobre la importancia de la educación superior y las oportunidades que se pueden obtener a través de ella. Esto se puede hacer a través de campañas de concientización en medios locales, redes sociales y en eventos públicos.

Además, se pueden establecer programas de tutorías y asesorías para estudiantes que necesiten ayuda en áreas específicas. Estos programas pueden ser dirigidos por estudiantes universitarios y organizados en colaboración con instituciones de educación superior.

Evaluación y seguimiento del plan:

Es fundamental evaluar y hacer un seguimiento del plan estratégico para asegurar su éxito. Para ello, se deben establecer indicadores que permitan medir el avance en la tasa de titulación superior en Saltillo y el impacto de las diferentes acciones implementadas.

Esto permitirá conocer si se están alcanzando los objetivos y si es necesario realizar ajustes en el plan para mejorar los resultados.

Esto sería grosso modo el plan estratégico para aumentar la tasa de titulación superior en Saltillo al 40% en 2030 debe incluir un análisis y diagnóstico de la situación actual, identificación de los sectores económicos y el potencial del “nearshoring”, desarrollo de un programa integral de becas y financiamiento, fomento de la educación técnica y profesional, creación de alianzas estratégicas

entre empresas y universidades, promoción de la educación en la comunidad y evaluación y seguimiento del plan.

la educación superior debe enfocarse en formar profesionales con competencias globales, capaces de innovar, emprender y adaptarse a los cambios tecnológicos y sociales. Para ello, se requiere impulsar la investigación científica y tecnológica, el desarrollo de programas académicos de calidad y pertinencia, la vinculación con el sector productivo y la internacionalización de las instituciones.

El desarrollo de la educación superior en Saltillo es clave para que la ciudad pueda consolidarse como un polo de atracción del “nearshoring” a largo plazo y como un referente nacional e internacional en materia de manufactura avanzada. Así, Saltillo podrá contribuir al crecimiento económico y social del país, así como al bienestar de sus habitantes.

Para que Saltillo se pueda desarrollar como una ciudad con un crecimiento constante y perfectamente articulado que cumpla con las expectativas de la Agenda 2030 de la ONU (ONU, 2018) debe de tener una sociedad preparada y que le presente las oportunidades de desarrollo en todas las facetas de la ciudad, desde la estructura urbana, servicios sociales, servicios médicos, etc... Para ello es imprescindible dotarla de elementos preparados y el punto de partida es ahora para poder desarrollar esa política de crecimiento.

Conclusión

La relación comercial y política entre China y Estados Unidos desde comienzos del siglo XX ha estado plagada de contradicciones al ser uno el mayor exponente del capitalismo y el otro el mayor exponente del comunismo en la era actual, siendo ambos países socios preferenciales por décadas, pero con la llegada de la COVID-19 se trastocaron todos los intereses comerciales e incluso se incrementó la tensión política. Todo ello trajo como consecuencia que muchas

empresas busquen deslocalizar su producción de China y hacer una localización o “nearshoring” cerca de Estados Unidos.

Saltillo en estos momentos es un punto de referencia para la industria de Estados Unidos gracias a la cual ha tenido un desarrollo exponencial en las últimas dos décadas. Su cercanía a la frontera y su capacidad industrial la hacen ser atractiva para este nuevo reto llamado “nearshoring”.

El “nearshoring” es un movimiento empresarial que implica la relocalización de la producción de bienes y servicios a países cercanos en busca de una ventaja competitiva. Esto puede tener un impacto positivo en el crecimiento económico de una región, como lo ha sido el caso de Saltillo en las últimas décadas. Sin embargo, un crecimiento desmedido puede tener consecuencias negativas en la infraestructura, servicios públicos y calidad de vida de los ciudadanos. Por lo tanto, es esencial una planificación adecuada y una inversión en infraestructura y servicios públicos para garantizar el desarrollo sostenible de las ciudades.

La educación superior es un factor clave para el desarrollo económico, social y cultural de un país. Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), el nivel de educación de la población determina su capacidad para innovar, competir y generar bienestar (OECD, 2023). Sin embargo, México se encuentra rezagado en este aspecto, ya que solo el 26% de los jóvenes entre 25 y 34 años cuenta con estudios superiores, mientras que el promedio de la OCDE es del 40% (OECD, 2023).

En este contexto, la ciudad de Saltillo se plantea el reto de incrementar la cantidad de población con educación superior del 26% al 40% desde el año 2023 al 2030, para ponerse al nivel de los países más avanzados. Para lograr este objetivo, se requiere de una estrategia integral que involucre a las entidades universitarias y a la iniciativa privada, mediante la aplicación de los principios SMART: específico, medible, alcanzable, relevante y temporal.

Los principios SMART son una herramienta de gestión que permite definir metas claras y efectivas, que facilitan el seguimiento y la evaluación de los resultados. A continuación, se presentan algunos ejemplos de cómo aplicar estos principios para incrementar la cantidad de población con educación superior en Saltillo:

- **Específico:** se identifica con precisión el problema a resolver, el público objetivo, los recursos disponibles y los resultados esperados. Y este es aumentar el número de egresados de educación superior en un 14% en siete años, mediante la ampliación de la oferta académica, el fortalecimiento de la calidad educativa y la vinculación con el sector productivo.
- **Medible:** se debe establecer indicadores cuantitativos y cualitativos que permitan medir el avance y el impacto de las acciones implementadas. Se debe de controlar el número de matriculados, número de graduados, tasa de deserción, tasa de empleabilidad, nivel de satisfacción, etc.
 - En caso de una desviación injustificada se debe activar inmediatamente un plan de reacción para evitar no cumplir con los objetivos.
- **Alcanzable:** se debe analizar la factibilidad de las metas propuestas, considerando las condiciones internas y externas que pueden facilitar o dificultar su cumplimiento. Por ejemplo: disponibilidad presupuestal, infraestructura física y tecnológica, capital humano, demanda laboral, etc.
- **Relevante:** se debe evaluar la pertinencia y el valor agregado de las metas propuestas, tanto para los beneficiarios directos como para la sociedad en general. Debe de: contribuir al desarrollo económico, social y cultural de Saltillo; mejorando las oportunidades y la calidad de vida de los jóvenes; generando de conocimiento e innovación; etc.

- Temporal: se debe definir un plazo específico para alcanzar las metas propuestas, así como establecer hitos intermedios que permitan monitorear el progreso y realizar ajustes si es necesario. Por ejemplo: incrementar el número de egresados en un 2% cada año hasta llegar al 40% en 2030; realizar evaluaciones semestrales o anuales para verificar el cumplimiento de los indicadores; etc.

En conclusión, incrementar la cantidad de población con educación superior en Saltillo es un objetivo ambicioso pero posible, siempre y cuando se cuente con una estrategia basada en los principios SMART. De esta manera, se podrá aprovechar el potencial de los jóvenes saltillenses para impulsar el desarrollo integral de la ciudad y del país

Esto es necesario para evitar que Saltillo crezca de una forma desordenada y que se acomode al ritmo de crecimiento de asociado con la ciudad tal como se ha presentado en el marco de referencia y antes de que se convierta en una megaciudad que creció sin control...

Referencias

- Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Nivel Superior. (2023). *Anuario Educación Superior – Técnico Superior, Licenciatura y Posgrado 2021-2022 V.1.1*. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Nivel Superior. Obtenido de <http://www.anuies.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- Banco de México. (2022). *México frente a la re-globalización*. Banco de México, Subgobernador del Banco de México. Recuperado el 16 de febrero de 2023, de <https://www.banxico.org.mx/publicaciones-y->

prensa/presentaciones/%7B14B216BB-8C1E-FE0E-D072-6F63415E4AA8%7D.pdf

Banco Santander. (enero de 2023). *Cifras del comercio exterior en China*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de Santander Trade Markets: <https://santandertrade.com/es/portal/analizar-mercados/china/cifras-comercio-exterior>

D'Adamo, I., Gastaldi, M., Imbriani, C., & Morone, P. (2021). *Assessing regional performance for the Sustainable Development Goals in Italy*. natureportfolio. doi:<https://doi.org/10.1038/s41598-021-03635-8>

Data México. (2022). *Data México*. Recuperado el 15 de febrero de 2023, de Saltillo-Municipio: <https://datamexico.org/es/profile/geo/salttillo?growthSelector1=growthOption&occupationMetrics=workforceOption&peaSelector=unemployedOption&populationType=totalPopulation&quarterOccupationSelector1=20101&timeNetTradeSelector=Year&totalGenderSelector=totalO>

DATAMEXICO. (2023). *Saltillo*. Gobierno. Recuperado el 28 de febrero de 2023, de <https://datamexico.org/es/profile/geo/salttillo>

Hernandez, L. (2022 de mayo de 5). *Los países que más autos produjeron en 2021*. Obtenido de Autocosmos: <https://noticias.autocosmos.com.mx/2022/05/04/los-paises-que-mas-autos-produjeron-en-2021>

INEGI. (febrero de 2023). *Banco de información Económica (BIE)*. Recuperado el 10 de febrero de 2023, de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0&ind=15166#D15166>

INEGI. (febrero de 2023). *Datos abiertos*. Recuperado el 12 de febrero de 2023, de INEGI: <https://www.inegi.org.mx/datosabiertos/>

- Marinucci, E. (enero-junio de 2021). Logística y transporte internacional: la disrupción ante el COVID-19. *Revista Integración y Cooperación Internacional*, 32: 6-21. Recuperado el 10 de febrero de 2023
- Monroy-Robles, M. (2023). Megatendencias y las Carreras del Futuro para el Estado de Coahuila. *Consejo de Vinculacion Universidad Empresa. COPARMEX Coahuila Sureste*. Saltillo: COPARMEX.
- OECD. (2023). *Education*. Recuperado el 11 de febrero de 2023, de OECD: <https://www.oecd.org/education/>
- OECD. (2023). *Population with tertiary education (indicator)*. doi:doi: 10.1787/0b8f90e9-en
- ONU. (2018). *Objetivos de desarrollo sustentable*. Recuperado el 15 de febrero de 2023, de Naciones Unidas: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2018/08/sabes-cuales-son-los-17-objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2004-2008-2012-2022). *Datos viales*. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Recuperado el 16 de febrero de 2023, de Secretaría de Comunicaciones y Transportes
- The Open University. (2016). *China and the USA cooperation or conflict?* Recuperado el 14 de febrero de 2023, de Open Learn: <http://www.open.edu/openlearn/people-politics-law/china-and-the-usa-cooperation-or-conflict/content-section-0>

Sobre el tamaño del universo y su posible colapso utilizando matemáticas y física básica

On the size of the universe and its possible collapse using mathematics and basic physics

*Dedicado a Dr. Rolando Cavazos Cadena[†]
Infinitamente...*

Julio Saucedo Zul

Universidad Autónoma de Coahuila, Facultad de Ciencias Físico Matemáticas,
Unidad Camporredondo Edificio A, C.P. 25000, Saltillo Coahuila México.

Correspondencia para autor

Correo electrónico: juliosaucedozul@uadec.edu.mx

Octubre del 2023

Resumen

El estudio del universo en el presente artículo, es desde una perspectiva al alcance de todo lector interesado en la ciencia de los astros, familiarizado con conceptos de matemáticas y física básicas, de nivel de medio superior. Dicho en otro sentido, este es un trabajo de divulgación con la intención de acercar lo más explícitamente posible al instructor y alumnado del nivel medio superior a dicho estudio. Recordaremos algunos conceptos sobre el origen del universo, es finito o infinito, o en expansión, colapsará etc. Como sabemos, el manejo correcto del concepto de infinito “como en muchas áreas de la ciencia” resulta ser de fundamental importancia para poder reflexionar mejor sobre el tema del universo en que estamos incluidos y las consecuencias teóricas que se han tenido a lo largo de la historia.

Palabras clave: universo estático e infinito, ley de atracción gravitacional, colapso.

Abstract

The study of the universe in this article is from a perspective available to any reader interested in the science of the stars, familiar with concepts of basic mathematics and physics, at a high school level. In other words, this is a dissemination work with the intention of bringing the instructor and students of the upper secondary level as explicitly as possible to said study. We will remember some concepts about the origin of the universe, is it finite or infinite, or is it expanding, will it collapse, etc. As we know, the correct handling of the concept of infinity “as in many areas of science” turns out to be of fundamental importance to be able to better reflect on the issue of the universe in which we are included and the theoretical consequences that have been had throughout history.

Key words: static and infinite universe, law of gravitational attraction, collapse.

Introducción

Empezaremos por recordar lo siguiente bien conocido citado textualmente: *“Un científico (al parecer fue Bertrand Russell) daba una vez una conferencia sobre astronomía. En ella describía cómo la tierra giraba alrededor del sol y cómo éste, a su vez, giraba alrededor del centro de una gran cantidad de estrellas conocida como nuestra galaxia. Al final de la charla, una simpática señora, ya de edad, se levantó y le dijo desde el fondo de la sala: Lo que nos ha contado usted no son más que tonterías. El mundo es en realidad una plataforma plana sustentada por el caparazón de una tortuga gigante. El científico sonrió ampliamente antes de hacerle una pregunta, ¿y en qué se apoya la tortuga? Usted es muy inteligente, joven - contesto la señora-. ¡Pero hay muchísimas tortugas una debajo de otra!*

La mayor parte de la gente encontraría bastante gracioso la imagen de nuestro universo como una torre infinita de tortugas, pero ¿en qué nos basamos para creer que lo conocemos mejor? ¿Qué sabemos acerca del universo, y cómo hemos llegado a saberlo? ¿De dónde surgió el universo, y a dónde va? ¿Tuvo el universo un principio, y, si así fue, que sucedió con anterioridad a él? ¿Cuál es la naturaleza del tiempo? ¿Llegará éste alguna vez a un final? " (Hawking, 1988).

En este artículo, se reflexiona sobre algunos comentarios acerca del universo estático infinito de Isaac Newton. Debido a la ley de la atracción gravitacional de Newton, cada objeto del universo es atraído por todos los demás, por lo que un universo estático no sería posible. Newton había comprendido que cualquier distribución finita de la masa sería colapsada por la atracción gravitatoria. Sin embargo, continuó hasta llegar a la conclusión de que el colapso se evitaría si el universo fuera infinito y estuviera lleno de materia en todas partes (lo cual es falso en la actualidad). Este es el punto central de la discusión y el objetivo del artículo es mostrar lo contrario, es decir, aun cuando el universo sea infinito el colapso puede ocurrir.

Lo anterior se encuentra documentado en una serie de cartas dirigidas al joven teólogo Richard Bentley. Algunas de estas cartas se guardan en el Trinity College de Cambridge (Turnbull, 1961).

Esta es una línea entre tantas, de los inconvenientes que pasan cuando se discute sobre el infinito. En un universo infinito, todos los puntos se consideran como un centro, ya que cualquier punto está formado por un espacio infinito de estrellas a su alrededor.

“Así se encontraba la dificultad del estudio acerca del universo a comienzos del siglo XVII. El problema seguía sin respuesta”.

Sobre si el universo es finito o infinito

Los primeros universos aristotélicos eran finitos en extensión, formados por esferas concéntricas que terminaban en la esfera de las estrellas fijas. En contraste, el universo estoico era un universo finito con un vacío exterior que era infinito (también conocido como el universo de una isla).

René Descartes se negó a usar la palabra infinito para describir el universo, ya que, según él, solo Dios podía ser infinito. En el universo cartesiano, el espacio sólo puede existir donde hay materia, por lo que tanto el espacio físico como la materia se extienden indefinidamente. Isaac Newton respondió a Descartes diciendo que, donde no hay materia, el espíritu dota al espacio de extensión. Newton argumentó

que decir que el espacio no puede existir sin materia era negar la presencia de Dios en el universo. Por lo tanto, Isaac Newton creía originalmente en un universo estoico en el que Dios creó un sistema material de extensión finita, con un vacío infinito en el que habitaba el espíritu de Dios.

El desarrollo de mejores telescopios de la época y más estudios de observación de la bóveda celeste, llevó al descubrimiento de nubes difusas en el espacio llamadas nebulosas. Immanuel Kant, (1724-1804) un filósofo y científico alemán, había propuesto un universo jerárquico en el que un grupo de estrellas formaba un sistema más grande, que se combinaba con otros sistemas para formar sistemas aún más grandes, en lo que se denominó el universo de muchas islas. Esta opinión fue compartida e ilustrada por el astrónomo y matemático inglés Thomas Wright (Harrison, 1986).

Por supuesto, ahora se sabe que la idea de un universo de una sola isla es incorrecta. Con nuevos avances en la tecnología óptica, los astrónomos han descubierto que algunas de las nubes borrosas eran de hecho sistemas de estrellas y gas muy parecidos a nuestra propia Vía Láctea. Este es otro recordatorio de que nunca debemos confiar demasiado en algunas de nuestras teorías cosmológicas actuales. *En los albores del siglo XXI, la pregunta de si vivimos en un universo finito o infinito es desconocida* (Tyson, 2017).

Otra observación a un universo estático infinito es atribuida al filósofo alemán Heinrich Olbers, quien escribió acerca de dicho modelo en 1823:

Imaginemos que todas las estrellas son similares al sol y están distribuidas uniformemente en un universo estático o infinito. Para cualquier dirección que miremos en el cielo nuestra vista eventualmente interceptará una estrella y, por tanto, todo el cielo debería estar tan brillante en todas partes como la luz del sol.

Este problema, ¿Por qué está oscuro el cielo de noche? tiene una historia fascinante y hasta el día de hoy sigue siendo un tema de interés por la cosmología. Fue el primer descubrimiento que nos conecta con regiones tan distantes del universo y los argumentos que se desprenden marcan el nacimiento de la ciencia en cosmología. Olbers atribuyó la oscuridad del cielo nocturno a la absorción de la luz mientras recorre el espacio. Otras propuestas son que el espacio no es euclidiano, o que el universo es joven o está expandiéndose. O también se piensa que el cielo está oscuro porque el tiempo requerido para que el campo de radiación alcance el equilibrio termodinámico es grande en comparación con todas las demás escalas de tiempo de interés, entre otras teorías. La paradoja de Olbers (como se conoce), es la historia de nuestra visión cambiante del universo.

En los tiempos en que Einstein abordaba la teoría cosmológica (universo esférico 1917), todo conocimiento astronómico de la época convergía en que el universo era estático a grandes dimensiones. Debido a lo anterior Einstein modificó sus ecuaciones de la relatividad general. Incorporó un término que no afecta los resultados a dimensiones del sistema solar, ni para escalas superiores a nuestra galaxia y más allá. Este término es otra fórmula de gravitación, proporcional a la densidad de materia; y se le llamó *constante cosmológica*. Esta constante es una nueva fuerza de repulsión gravitacional que iguala a grandes dimensiones el efecto atractivo de la gravitación conocida de Newton. De esta manera el trabajo del universo de Einstein mantiene un equilibrio estático. Esta teoría alternativa, se decía no convencía del todo a Einstein, que decidió llevarla a cabo por los estudios astronómicos de ese tiempo (Bruce, 2003; Harrison, 1986).

Algunos cuestionamientos y observaciones al respecto

Con la obra maestra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Newton, (o los Principia) se dota al mundo de una teoría fundamental para la ciencia, en particular para la cosmología con la gravitación universal. Newton no usó directamente su teoría de gravitación para atender el problema cosmológico en los Principia, sin embargo, la trató en distintas cartas que escribió al reverendo Richard Bentley quien argumentaba que las leyes de la naturaleza son insuficientes para explicar el funcionamiento del universo y deben complementarse con actos sobrenaturales de un poder divino, estaba interesado de convencer a los ateos de la época que Dios existía mediante la ley de gravitación universal. Para esto consultó a Newton sobre algunas preguntas técnicas: le señala que un universo finito, estático, sería inestable y colapsará hacia su centro por la atracción gravitacional. Newton respondió a la consulta de Bentley sobre el efecto de la gravedad en un sistema material de tamaño finito. En esta famosa declaración dijo que un universo compuesto de materia que gravita por sí mismo es necesariamente ilimitado, porque de lo contrario carece de un estado de equilibrio y colapsa.

En otra carta a Bentley dijo Newton, *usted argumenta que cada partícula de materia en un espacio infinito tiene una cantidad infinita de materia en todos los lados del sistema cosmológico y, en consecuencia, una atracción infinita en todos los sentidos y por lo tanto, debe descansar en equilibrio porque todos los infinitos son iguales*. Newton estuvo de acuerdo con Bentley en que la providencia había diseñado un universo de extensión infinita en el que las estrellas distribuidas uniformemente se mantienen en equilibrio inestable como agujas sobre sus puntas, y explicó cómo las fuerzas finitas pueden permanecer aun cuando las fuerzas gravitatorias infinitas se restan unas de otras; un ejemplo, nuestro sistema solar.

Aparentemente, los comentarios de Bentley impulsaron a Newton a redactar una segunda edición de los Principia. En este tratamiento intentó mostrar que las

observaciones astronómicas apoyaban la idea de una distribución uniforme de estrellas y asumió que todas las estrellas se parecen a nuestro Sol. En la segunda edición de los Principia, Newton describió cómo la providencia había colocado las estrellas muy separadas:

Este perfecto sistema del sol, planetas y cometas, sólo podía proceder del dominio de un ser inteligente y poderoso. Y si las estrellas fijas son centros de otros sistemas similares, éstos al estar formados por el mismo sabio, deben estar todos sujetos a un mismo dominio. Y para que los sistemas de las estrellas fijas no caigan por su gravedad mutuamente, ha colocado esos sistemas a inmensas distancias entre sí (Turnbull, 1961).

Newton también escribió ¿De dónde es que la naturaleza no hace nada en vano, y de dónde surge todo ese orden y belleza que vemos en el mundo? ¿Qué impide que las estrellas fijas caigan sobre uno? Newton creía que no sólo la formación del universo sino también el mantenimiento del sistema solar ofrecía pruebas de la existencia de Dios. La amplia separación de estrellas dio evidencia adicional de diseño y mantenimiento providencial.

Por cierto, las cuatro cartas de Newton a Bentley figuran entre los documentos más importantes de la historia de la cosmología.

La intervención más relevante al estudio del universo de Einstein, donde se demuestra que no es una solución al problema cosmológico, se descubrió una década más tarde (en 1927) por el fisicomatemático Belga, Georges Lemaître. Muestra que el equilibrio del universo al trabajo de Einstein es inestable; de esta manera con la más mínima perturbación se llegará a la ruptura del equilibrio total, iniciando un colapso catastrófico o una expansión indefinida.

Este trabajo también recibió muy poca atención al principio, probablemente porque fue publicado en una revista belga poco leída. El trabajo llamó la atención de Einstein tiempo después, sólo para ser descartado como "abominable". Según Lemaître, el rechazo de Einstein probablemente se debió a una falta de conocimiento de los avances en astronomía:

"Estaba hablando de las velocidades de las nebulosas y tuve la impresión de que Einstein apenas conocía los hechos astronómicos" (Lemaître, 1958).

Einstein y Lemaître tuvieron ocasiones de debatir sobre varios temas, por ejemplo, que el universo debería tener un origen (big bang), y estar gobernado por las leyes de la física; leyes que el hombre podría descubrir, ello les acercó en una amistad personal y profesional.

Un par de años después del resultado de Lemaître, el astrónomo Edwin Powell Hubble usando un telescopio de 100 pulgadas del Monte Wilson en California, comprobó que las galaxias no permanecen en reposo, sino que avanzan de nuestra galaxia con una velocidad proporcional a su distancia. Similar a la gran explosión, comenzó la expansión del universo y luego el proceso se mantiene por inercia ganándole a la fuerza de atracción gravitacional. Al saber Einstein sobre la expansión del universo, mencionó que ya no era necesario continuar con el uso sobre la constante cosmológica, ya que, en principio servía para un universo en equilibrio estático, y ya que no es así, es innecesario dificultar más la teoría.

El resultado que dos años antes estableció Lemaître, que expresa la relación lineal entre la velocidad de separación de las galaxias distantes y su distancia de la nuestra, se demostró empíricamente, y hoy lo conocemos como ley de Hubble.

Quizás el aspecto más sorprendente de las memorias de Einstein de 1917 es que no consideró la estabilidad de su modelo cósmico. Cuando finalmente abandonó el estudio del universo de Einstein en 1931, fue por el doble motivo de que el modelo era inestable y estaba en conflicto con la observación empírica (O’Raifeartaigh y col., 2017; Harrison, 1986; Rodríguez, 2005).

IV. El objetivo de este documento

La aportación principal de este documento se presenta en esta sección, cuyo objetivo es mostrar a la gente interesada en el tema (en particular profesores de secundaria y bachillerato) que también se puede comprender conceptos de la cosmología con matemáticas y física básica en algunos casos, con la intención de motivarlos a seguir aprendiendo y cuestionando sobre las teorías del universo y de la ciencia en general.

Newton dijo que, *si los cielos y sus estrellas fueran de extensión finita, "caerían hasta el centro y allí formarían una gran masa esférica", pero evitó calcular el tiempo del colapso gravitatorio.*

¿Aún en la actualidad es una interrogante, porqué Newton no abordó la escala de tiempo para el colapso del universo?

Quizás Newton no pensó en calcular las escalas de tiempo cósmicas. Pero, ésta no es una explicación para una persona cuya mente nunca estuvo en reposo. Comencemos por analizar de forma elemental esta pregunta.

Newton mencionó que un sistema sidereal colapsaría en su centro si fuera de tamaño finito. Ignoró la posibilidad de un movimiento aleatorio o sistemático, que hoy en día

damos por sentado en sistemas como los cúmulos globulares o las galaxias. Sin embargo, el concepto de equilibrio dinámico, no se adelantó a su época.

Fue William Thomson (Lord Kelvin) en 1902 quien hizo el primer cálculo del colapso gravitacional. Consideró un sistema esférico consistente en una distribución uniforme de estrellas de masa total M , radio inicial r_0 y constante de gravitación G . Integró la ecuación de movimiento y obtuvo la velocidad de caída del límite en el radio r , así pues

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)^2 = 2GM \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0}\right) \quad (1)$$

una segunda integración da el tiempo de colapso del sistema, desde un radio inicial r_0 , hasta un radio igual a cero:

$$t = \pi \left(\frac{r_0^3}{8GM}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

Ahora con una densidad de valor inicial ρ_0 dado por $M / (4/3)\pi r_0^3$, la expresión para el tiempo de colapso se convierte en

$$t = \left(\frac{3\pi}{32G\rho_0}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

por lo tanto, el tiempo para el colapso no depende del radio de la esfera en cuestión, es decir, el tamaño inicial de un sistema de estrellas no afecta el tiempo total de colisión entre ellas.

Estimar el tiempo de caída a partir del movimiento orbital de una partícula en el campo gravitatorio de una masa M estaba dentro del alcance de los Principia de Newton.

Newton también se enfrentó a los cálculos de estas escalas de tiempo y una necesidad obvia de definir "separación amplia". Por ejemplo, en los Principia, él estimó que un globo de hierro al rojo vivo del tamaño de la tierra tardaría más de 50 000 años en enfriarse. Como vemos, no se le pasó por alto la necesidad de calcular escalas de tiempo cósmicas (Harrison, 1986).

Parece haber pocas dudas de que Newton pudo haber descubierto que el tiempo para el colapso depende de la densidad del sistema sideral y no de su tamaño y que el tiempo es del orden de 100 millones de años.

En esta parte entramos a nuestro objetivo con la herramienta básica. La fuerza gravitacional entre dos cuerpos (ecuación de movimiento) es: fuerza de atracción, proporcional al producto de sus masas e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas, matemáticamente:

$$F = G \frac{Mm}{r^2}, \quad \text{donde } G \text{ es la constante gravitacional } (G = 6,67428 \times 10^{-11} \text{ m}^3 / \text{kg s}^2).$$

Además, sabemos que la fuerza se puede expresar también como $F=ma$, donde m es la masa de la partícula en cuestión, y a su aceleración (Tipler y Mosca, 2010; Viniegra Heberlein, 2016).

Desde el punto de vista moderno, es indudable que una distribución infinita de materia bajo la influencia de la gravedad newtoniana se colapse. Una forma de comprender correctamente la situación en el sentido de este escrito es imaginar al universo como una esfera finita de un cierto radio y pensar que el radio es cada vez mayor, hasta tener una esfera de radio infinito (Guth, 1997), como se considera en Figura 1.

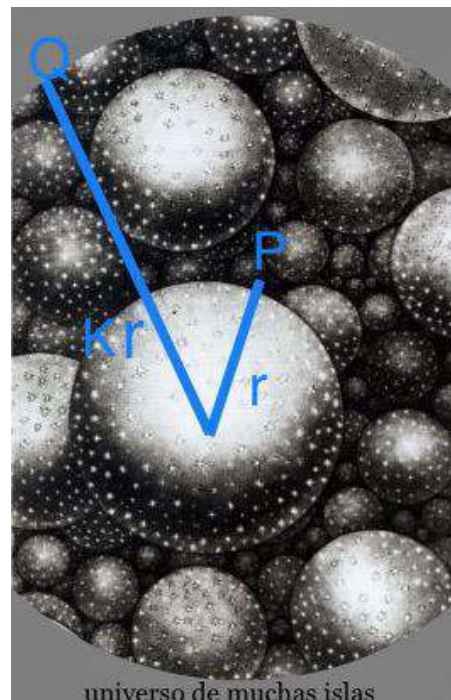


Figura 1. El universo de muchas islas de Thomas Wright, con un número infinito de sistemas estelares (<https://eppursimuov3.wordpress.com/2010/01/11/reflections-in-cosmology-6-finite-or-infinite-universe/>)

A continuación, mostraremos con principios elementales de matemáticas y física que la fuerza de la gravedad hará que, para cualesquiera dos esferas con la misma densidad, pero de diferente radio colapsen en un punto en la misma cantidad de tiempo. Podemos pensar en que se duplica y se reduplica el tamaño de una de estas esferas cuantas veces se desee, pero el tiempo en caso de colapso no cambiará.

Consideremos las dos esferas masivas con una densidad de materia ρ , y radios r , kr respectivamente, así como también suponemos que las esferas tienen ciertas distribuciones de partículas (como el universo y sus estrellas), tan pequeñas en comparación con las distancias que las separan, que al colapsar no habrá colisión entre ellas, sino que chocan todas las partículas en un punto. Puesto que las estrellas no chocan entre si no habrá fuerzas de presión que resistan la contracción y podemos considerar sólo la fuerza gravitacional.

Para estudiar el colapso fijamos nuestra atención en el movimiento de un punto situado sobre la superficie de una de las esferas, digamos la de radio r y punto final P (observemos la imagen anterior). La fuerza que experimenta el punto P será:

$$F_p = -G \frac{M_r m}{r^2}. \quad (4)$$

Donde M_r es la masa total de la esfera, m representa la masa del punto P y r el radio de la esfera.

El volumen de la esfera sabemos es $4\pi r^3/3$, y si ρ es la densidad, entonces la masa M_r es $4\pi \rho r^3/3$, así la fuerza queda como

$$F_p = \frac{4\pi}{3} (G\rho m)r. \quad (5)$$

Como también $F=ma$, entonces la aceleración en el punto P es

$$a_p = \frac{4\pi}{3} (G\rho)r. \quad (6)$$

Ahora, si consideramos la esfera de la misma densidad, pero de radio kr , (con $k>1$) entonces la aceleración en el punto Q , sobre la superficie de la esfera después de realizar un camino similar al anterior será

$$a_Q = \frac{4\pi}{3} (G\rho)kr.$$

(7)

Por lo tanto, tenemos que la fuerza sobre Q resulta ser k veces que la fuerza sobre P , y lo mismo es cierto para las aceleraciones, la aceleración de Q será k veces la de P , por lo que en cualquier momento dado la velocidad de Q será k veces la de P . Puesto que la distancia que Q debe recorrer mientras se colapsa al centro es también k veces, podemos afirmar que las dos esferas se colapsarán en la misma cantidad de tiempo. Por lo tanto, hemos probado el siguiente enunciado.

Si pensamos en que k tiende a infinito, entonces el colapso no se evita, aun cuando el universo sea infinito.

En efecto que, de las aceleraciones en P y Q , considerando una relación directa, y poniendo $r_0 = kr$, se obtiene también el tiempo del colapso encontrado en la ecuación (3).

Si la materia se propaga de manera uniforme por todo un espacio infinito, ¿cómo elegiría un centro hacia el cuál colapsarse? La respuesta es que, en contra de lo que dicta la intuición, la materia puede contraerse uniformemente sin elegir un centro. Cada observador será un centro. Sin importar en qué punto del universo infinito puede estar el observador, vería toda la materia restante del universo colapsándose hacia él (Guth, 1997; Hawking, 1988; Rodríguez, 2005). *Es importante mencionar, que las técnicas teóricas de las matemáticas aplicadas a la física en ocasiones nos dan sorpresas, aquí mostramos un ejemplo, donde no importa si las estrellas son de extensión finita o la extensión converge al infinito, el tiempo calculado para que las estrellas caigan en cualquier punto de esta extensión es el mismo, sin tener ninguna dificultad o cuestionamiento en el desarrollo matemático como se puede notar al resolver la ecuación (1).*

Conclusiones

Es importante mencionar que en este documento citamos a muy pocos autores principales que abordaron el tema, no obstante, han sido bajo nuestra óptica los más relevantes. En la actualidad existen numerosos estudios en distintas direcciones sobre el estudio del universo hecho por otros científicos igual de competentes.

Entre estas investigaciones se encuentra, un universo que se infla a partir del universo estático de Einstein después de un período de tiempo indefinido. Se piensa que este escenario, conocido como 'el universo emergente', podría evitar grandes dificultades en la cosmología moderna como el problema del horizonte, la era de la gravedad cuántica y la singularidad inicial (O'Raiheartaigh y col., 2017).

Aún no se sabe si el universo emergente ofrecerá una descripción plausible y consistente sobre la evolución del universo, pero notamos, como tantas veces, la relevancia de los modelos pasados del universo en la investigación actual.

Tengamos la esperanza finita de conocer en algunos años, si coincidimos en un universo que: tuvo comienzo o finaliza (o ninguna de las dos cosas), o si es autónomo. O igual vendrán otras mentes como Bentley, Olbers o Lemaître a abrir nuevos caminos de investigación sobre este estudio del universo.

Agradecimientos

Agradezco a todos los profesores de la FCFM de la UAdeC por todo su tiempo compartido absoluto, independientemente donde nos encontremos.

Bibliografía

Bruce, B. (2003) *The Infinite Universe of Einstein and Newton*. (Primera edición). USA: Ed. Braun Walker Press, Portland Florida USA. Pp. 116

Guth, A. H. (1997). *The Inflationary Universe: The quest for a new theory of cosmic origin*. (Primera edición). USA: Ed. Helix Books, Cambridge Massachusetts. Pp.358

Harrison, E. (1986). Newton and the Infinite Universe. *Physics Today*. 39 (2): 24–32. <https://doi.org/10.1063/1.881049>

Hawking, S. (1988). *Historia del tiempo del Big Bang a los Agujeros Negros*. (Primera edición). España: Ed. Crítica. Pp. 177

Lemaître, G. (1958). The primeval atom hypothesis and the problem of the clusters of galaxies. In R. Stoops (Ed.), *La Structure et l'Évolution de l'Univers* (pp. 1–25). Bruxelles: Institut International de Physique Solvay, Belgium.

O’Raifeartaigh, C., O’Keeffe, M., Nahm, W., Mitton, S. (2017). Einstein’s 1917 Static Model of the Universe: A Centennial Review. *The European Physical Journal H*. 42(3): 431-474. DOI: [10.1140/epjh/e2017-80002-5](https://doi.org/10.1140/epjh/e2017-80002-5)

Rodríguez, L. F. (2005). *Un Universo en Expansión*. (Cuarta edición). México: Ed. Fondo de Cultura Económica México-México, Colección la ciencia para todos. Pp.105

Tipler, P. A., Mosca, G. (2010). *Física para la ciencia y la tecnología. Vol. 1A Mecánica*. (Sexta edición). España: Ed. Editorial Reverté. S.A. Pp. 490

Turnbull, H.W. (1961). *The Correspondence of Isaac Newton*. Vol. III, 1688-1694. UK: Ed. Cambridge University Press, 233 Pp.

Tyson, N. deG. (2017). *Astrofísica para gente con prisa*. México: Ed. Paídos. Pp. 216

Viniegra Heberlein, F. (2016). *Una Mecánica sin talachas*. (Tercera edición). , última edición. México: Ed. Fondo de Cultura Económica México-México, Colección la ciencia para todos. Pp. 271.