



CienciAcierta^{DR}

CIENCIA TECNOLOGÍA HUMANIDADES

AÑO 21, NÚMERO 83

ISSN: 2683-1848

JULIO-SEPTIEMBRE 2025

Latindex: 30518



DIRECCIÓN DE
INVESTIGACIÓN
Y POSGRADO

latindex

CC creative commons



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
COAHUILA

PUBLICADA DESDE 2005

ISSN 2683-1848

CIENCIACIERTA, AÑO 21, NO. 83 JULIO-SEPTIEMBRE 2025, 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: DRA. ANNA ÍLINA. 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 UADEC, LIC. LOYDA ESTHER GIL NORIEGA, EDIFICIO D, PLANTA ALTA, UNIDAD CAMPORREDONDO, SALTILLO, COAHUILA, C.P. 25280, FECHA DE ÚLTIMA, ACTUALIZACIÓN 1 DE JULIO DE 2025.

CIENCIACIERTA ES UNA PUBLICACIÓN CIENTÍFICA, TECNOLÓGICA Y HUMANÍSTICA, MULTIDISCIPLINARIA CUYO OBJETIVO ES DIVULGAR EL AVANCE DEL CONOCIMIENTO Y SE ENFOCA EN LAS SIGUIENTES ÁREAS: FÍSICO-MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA TIERRA; BIOLOGÍA Y QUÍMICA; MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD; CIENCIAS DE LA CONDUCTA Y EDUCACIÓN; HUMANIDADES (ARQUITECTURA Y URBANISMO, ARTE Y CULTURA, HISTORIA, LINGÜÍSTICA Y LITERATURA Y FILOLOGÍA Y PSICOLOGÍA); CIENCIAS SOCIALES (ADMINISTRACIÓN Y GESTIÓN EMPRESARIAL, CIENCIAS DE LA COMUNICACIÓN, CIENCIAS ECONÓMICAS, CIENCIAS JURÍDICAS Y DERECHO Y CIENCIAS POLÍTICAS); CIENCIAS DE AGRICULTURA, AGROPECUARIAS, FORESTALES Y DE ECOSISTEMAS; INGENIERÍAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO Y MULTIDISCIPLINARIA.

TODO MATERIAL PUBLICADO CUENTA CON UN REPORTE DE ANÁLISIS DE SIMILITUD FAVORABLE Y HA SIDO SOMETIDO A UN PROCESO DE EVALUACIÓN DE DOBLE CIEGO POR PARES ACADÉMICOS EXTERNOS A LA UADEC.

CONSEJO EJECUTIVO EDITORIAL

Dra. Anna Ilina

EDITOR

annailina@uadec.edu.mx

Dr. Luis Gutiérrez Flores

DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN Y

POSGRADO

luis.gutierrez@uadec.edu.mx

Dr. David Castro Lugo

SUBDIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN-

DIP

david.castro@uadec.edu.mx

Lic. Loyda E. Gil Noriega

COMITÉ TÉCNICO EDITORIAL NACIONAL E INTERNACIONAL

Dra. Elda Patricia Segura C.

QUÍMICAS

Fac. de Ciencias Químicas-UAdeC

psegura@uadec.edu.mx

Dra. Gabriela de la Peña Astorga

COMUNICACIÓN

Fac. C. de la Comunicación-UAdeC

gabriela.pena@uadec.edu.mx

Dr. Gustavo Félix Verduzco

ECONOMÍA

CISE-UAdeC

gustavo.felix@uadec.edu.mx

Dra. Irma Delia García Calvillo

MATEMÁTICAS

CIMA-UAdeC

irma.garcia@uadec.edu.mx

Dr. Pablo Ruiz Flores

CIENCIAS DE LA SALUD

CIB-UAdeC

pabloruiz@uadec.edu.mx

Dr. José González Tovar

PSICOLOGÍA

Fac. de Psicología-UAdeC

Dr. Juan Carlos Centeno

Maldonado

JURISPRUDENCIA

Fac. de Jurisprudencia UAdeC

centenojuan@uadec.edu.mx

Dra. Virginia Nevares Moorillón

MICROBIOLOGÍA Y C. AMBIENTALES

Fac. Ciencias Químicas UACH

vnevare@uach.mx

Dra. Arely Prado Barragán

BIOTECNOLOGÍA Y ALIMENTOS

Universidad Autónoma

Metropolitana

lapb@xanum.uam.mx

Dr. Gerardo Gutiérrez Sánchez

CIENCIAS QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS

CCRC-University of Georgia, USA

gerardo@ccrc.uga.edu

Dr. Guillermo Picó

C. BIOQUÍMICAS Y FARMACÉUTICAS

Universidad Nacional de Rosario,

Argentina

gpico@fbioyf.unr.edu.ar

Dr. Luis Huesca Reynoso

ECONOMÍA



CienciAcierta

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA-DIP
logiln@uadec.edu.mx

josegonzaleztovar@uadec.edu.mx

Centro de Investigación
Alimentación y Desarrollo,
México
lhuesca@ciad.mx

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

ÍNDICE

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE ALGINATO DE CALCIO USANDO DIFERENTES TIPOS DE EMULSIONES

*SYNTHESIS OF CALCIUM ALGINATE NANOPARTICLES USING DIFFERENT
TYPES OF EMULSIONS*

Indra Jaqueline García Villanueva, Lorena Farías Cepeda,
Lucero Rosales Marines y Juan Luis De la Peña Zúñiga

1

TORSIÓN ANEXIAL COMO CAUSA DE ABDOMEN AGUDO: REPORTE DE CASO Y REVISIÓN DE LA LITERATURA

*ADNEXAL TORSION AS A CAUSE OF ABDOMINAL PAIN: CASE REPORT AND
REVIEW OF THE LITERATURE*

Fabiola Álvarez Rosales y Roberto Antonio Alvarado
Hernández

14

RELACIÓN DE LA LACTANCIA MATERNA CON LA CARIES DENTAL

RELATION BETWEEN BREASTFEEDING AND DENTAL DECAY

Diana Antonieta Flores Flores, Patricia Torres Reyes,
Enrique Cavazos López, Fernanda Sofía Sánchez
Rodríguez y Ximena Saucedo Mancha

24

APLICACIONES INNOVADORAS DE NANOPARTÍCULAS



BIOSINTETIZADAS: AVANCES Y PERSPECTIVAS

48

*INNOVATIVE APPLICATIONS OF BIOSYNTHESIZED NANOPARTICLES:
ADVANCES AND PERSPECTIVES*

Carlos A. García Martínez, Víctor M. Ovando Medina,
Lorena Farías Cepeda, Lucero Rosales Marines, Antonia
Martínez Luévanos

**ORIGEN DEL GRUPO D_4 EN EL ORBIFOLD Z_2 : UNA PUERTA
PARA CONOCER LA IMPORTANCIA DE LOS GRUPOS Y
ORBIFOLDS EN LA FÍSICA**

62

*ORIGIN OF THE DIHEDRAL GROUP D_4 IN THE Z_2 ORBIFOLD: A DOOR TO
KNOW THE IMPORTANCE OF GROUPS AND ORBIFOLDS IN PHYSICS*

Ricardo Pérez Martínez

**UNA MIRADA AL USO DE BIOPELÍCULAS A BASE DE PLANTAS
COMO RECUBRIMIENTOS DE ALIMENTOS**

85

A LOOK AT USING BIOFILM AS PLANT-BASED FOOD COATING

Luz P. Martínez Castillo, Lorena Farías Cepeda, Anilú Rubio Ríos,
Rosa I. Narro Céspedes, Víctor M. Ovando Medina

**FLOTACIÓN INVERSA Y RECUPERACIÓN DE ÓXIDOS
METÁLICOS, UN ENFOQUE INTEGRAL**

101

REVERSE FLOTATION AND RECOVERY OF METAL OXIDES, A



CienciAcierta

COMPREHENSIVE APPROACH

Marvín Sebastián Castro Zúñiga, Sergio Enrique Flores
Villaseñor, Criseida Ruiz Aguilar y Mario Rodríguez Reyes

**ANÁLISIS DE LA DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE
RESIDUOS MEDIANTE ULTRALYTICS YOLOV8**

117

*ANALYSIS OF DETECTION AND IDENTIFICATION OF RESIDUES USING
ULTRALYTICS YOLOV8*

Byan Aleck Aguilar Rodríguez, Fernando Clemente
Covarrubias Velázquez, Alan Refugio Pérez Casillas,
Josué Gómez Casas, Carlos Alberto Toro Arcila, Jesús
Salvador Galindo Valdés y Daniela Estefanía Ortiz Ramos

**APÓSITOS POLIMÉRICOS CON APLICACIONES POTENCIALES
EN LESIONES DE LA PIEL**

134

*POLYMERIC DRESSINGS WITH POTENCIAL APPLICATIONS IN SKIN
INJURIES*

José G. Cárdenas Marín, Aidé Saenz Galindo, Adalí O.
Castañeda Facio y José J. Cedillo Portillo

**POLVOS DE MOLDE Y SU IMPACTO EN LA COLADA
CONTINUA**

149

MOLD POWDERS AND THEIR IMPACT ON CONINUOUS CASTING

Alma Cristal Zavala Valle, José Manuel González De la
Cruz y María de Jesús Soria Aguilar



CienciAcierta

**REVISIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMO
FLUIDODINÁMICO DEL ACERO LÍQUIDO EN UN MOLDE DE
COLADA CONTINUA**

168

*REVIEW OF THE THERMOFLUID DYNAMIC BEHAVIOR OF THE LIQUID
STEEL IN A CONTINUOUS CASTING MOLD*

Edith Ramos Cardona, Ismael Calderón Ramos,
Romualdo Servín Castañeda y Jorge Carlos Ríos Hurtado



CienciAcierta

SÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS DE ALGINATO DE CALCIO USANDO DIFERENTES TIPOS DE EMULSIONES

SYNTHESIS OF CALCIUM ALGINATE NANOPARTICLES USING DIFFERENT TYPES OF EMULSIONS

INDRA JAQUELINE GARCÍA
VILLANUEVA

LORENA FARÍAS CEPEDA

LUCERO ROSALES MARINES

JUAN LUIS DE LA PEÑA ZÚÑIGA

RESUMEN

El alginato de sodio es un polisacárido que se extrae de algas pardas, polímeros orgánicos derivados del ácido algínico, se utiliza en la industria alimentaria, farmacéutica y odontológica. Con él, se pueden encapsular compuestos bioactivos mediante emulsiones y nanoemulsiones, lo que mejora la biodisponibilidad, la liberación controlada y la efectividad de los fármacos, reduciendo además sus efectos secundarios. El propósito de esta revisión es dar a conocer la aplicación de los diferentes tipos de emulsiones en la síntesis de nanopartículas de alginato de calcio con fines farmacéuticos. Se presentan algunos trabajos que destacan los métodos de síntesis por emulsiones, los resultados demuestran que se pueden lograr tamaños de partículas entre 50 y 200 nm, con rendimientos de encapsulación hasta del 90%. Estas características proporcionan mayor estabilidad, garantizando propiedades, composiciones constantes y se podrían ser utilizadas para la liberación sostenida de fármacos, entre otras aplicaciones.

Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

Correspondencia
lorenafarias@uadec.edu.m

X

<https://orcid.org/0000/0001/7835/9628>



CienciAcierta

Palabras clave: nanopartículas; nanoemulsiones; microemulsiones; alginato de calcio.

Fecha de recepción
14 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
1 de abril de 2025.

ABSTRACT

Sodium alginate is a polysaccharide extracted from brown algae, organic polymers derived from alginic acid, which is used in the food, pharmaceutical and dental industries. With it, bioactive compounds can be encapsulated through emulsions and nanoemulsions, which improves the bioavailability, controlled release and efficacy of drugs, while reducing their side effects. Therefore, the purpose of this review is to present the application of different types of emulsions in the synthesis of calcium alginate nanoparticles for pharmaceutical purposes. The results show that particle sizes between 50 and 200 nm can be achieved, with encapsulation yields of up to 90%. These characteristics provide greater stability, guaranteeing properties, constant compositions and could be used for sustained drug release, among other applications.

Keywords: nanoparticles; nanoemulsions; microemulsions; calcium alginate

INTRODUCCIÓN

El alginato de sodio, es un biopolímero extraído de algas pardas

que se emplea como espesante en la industria alimentaria, aglutinante en tabletas y en tecnologías emergentes como barreras en alimentos, apósitos biodegradables, encapsulación de fármacos y enzimas, y liberación controlada de nutrientes y herbicidas. El alginato es un polímero glicosídico constituido por los monosacáridos D-manurónico y L-gulurónico, puede formar geles insolubles en agua mediante su gelificación con iones Ca^{+2} , lo que le permite encapsular macromoléculas como fármacos de bajo peso molecular, lo que lo hace útil para la liberación controlada de agentes terapéuticos y aplicaciones agrícolas (Mandal y col., 2010; Méndez y col., 2015).

Por otro lado, se utiliza el término de macroemulsión o emulsión simplemente para denominar sistemas dispersos fuera del equilibrio, constituido por dos fases líquidas inmiscibles con tamaño de las gotas entre 0.5 y 100 micrómetros (μm), tamaños que se pueden obtener fácilmente por agitación mecánica. Si las gotas de fase dispersas se encuentran por debajo de 100 nm, se habla de mini o nanoemulsiones. Estos también son sistemas bifásicos, aunque su elaboración requiere técnicas poco convencionales. Esto es independientemente del tamaño de las gotas, todas estas emulsiones son sistemas inestables hablando termodinámicamente, que se descomponen, ya sea de forma rápida o lenta, en dos fases.

Por otra parte, las microemulsiones no son emulsiones constituidas de pequeñas gotas, sino sistemas monofásicos dentro de los cuales un surfactante por encima de su concentración micelar crítica, hace posible la coexistencia, a escala casi molecular, de aceite y agua, se puede decir que son micelas hinchadas con la fase dispersa. Las microemulsiones son térmicamente estables, presentan microdo-minios, típicamente



del orden de 10 a 50 nm, fluctuando rápidamente dentro del tiempo y el espacio. Las características más importantes de la miroemulsiones son que presentan tensiones interfaciales ultra bajas, su elevado poder solubilizante para compuestos hidrofílicos y lipofílicos y la presencia de microdominios acuosos y oleosos. Las microemulsiones tienen aplicaciones en la recuperación mejorada del petróleo, en las industrias farmacéutica, agrícola, reacciones enzimáticas y en la fabricación de nanopartículas. (Hiemenz y Rajagopalan, 2016)

El propósito de esta revisión bibliográfica es mostrar la aplicación de los diferentes tipos de emulsiones en la síntesis de nanopartículas de importancia para la industria farmacéutica.

NANOPARTÍCULAS

De manera general las nanopartículas se definen como partículas con al menos una de sus dimensiones en escala nanométrica, es decir, entre 1 y 100 nm. Las nanopartículas pueden tener diferentes morfologías, pueden ser, nanofibras, nanotubos, nanoesferas, y nanocápsulas o partículas porosas. El tamaño nanométrico confiere propiedades únicas, las cuales no son comparables a partículas de mayor tamaño, por consiguiente, sus aplicaciones son amplias y en diversas disciplinas, como la electrónica, la óptica, la biotecnología, la ciencia de los materiales, la química, la medicina, entre otros. (Goutam y Saxena, 2020; Mirsasaani y col., 2012; Wang y col., 2012)

Las nanopartículas con aplicaciones farmacéuticas se empezaron a desarrollar en la década de 1960, y en el último siglo se ha demostrado que son muy prometedoras en la formulación de



productos farmacéuticos. Aunque sus limitaciones se ven reflejadas por el costo y la aprobación regulatoria, lo cual no sucede en otras disciplinas como la electrónica, la óptica, y productos de consumo. (Sung y col., 2007; Wang y col., 2012). Las nanopartículas en la industria farmacéutica se usan como portadores, ya sea atrapando, disolviendo o encapsulando el principio activo (fármaco), uniendo o adsorbiendo el principio activo, además pueden replicar o alterar procesos biológicos, lo que las convierte en una herramienta prometedora para abordar problemas asociados con la solubilidad, biodisponibilidad, compatibilidad inmunológica y citotoxicidad de muchos fármacos tradicionales utilizados para terapias y diagnósticos. (Oropesa y Jáuregui, 2012; Sung y col., 2007).

La síntesis de nanopartículas es fundamental, ya que las condiciones de proceso son influyentes en las propiedades de las nanopartículas. En este sentido, el control del tamaño y la forma de las partículas permite obtener las propiedades adecuadas o específicas para una aplicación. Actualmente los métodos empleados para síntesis de nanopartículas se dividen en dos tipos, el primero, la aproximación de “arriba hacia abajo”, que relaciona especialmente métodos físicos, como los de la implantación de iones, la molienda o activación mecanoquímica, la evaporación térmica, la deposición química de vapor y la preparación de *clusters* gaseosos. El segundo, la aproximación de “abajo hacia arriba” relacionado con métodos químicos, como, la reducción fotoquímica y radiolítica, el método sol-gel, microemulsiones, la irradiación con microondas, la síntesis solvotermal y la utilización de dendrímeros. (López y col., 2018; Zanella, 2012) A continuación, se describe un poco del método relacionado con las emulsiones.



DESARROLLO DE NANOPARTÍCULAS A PARTIR DE EMULSIONES

En ese sentido Chan y col. (2000) encapsularon con alginato y almidón aceite de trigo y de prímula, mediante un método de emulsificación. Primero prepararon una solución acuosa de alginato y almidón. Posteriormente esta solución acuosa se emulsificó en isooctano en presencia de Span 85 junto con diferentes proporciones del aceite a encapsular. A continuación se añadió una solución acuosa de cloruro de calcio, para formar las microsferas. Lograron eficiencias de encapsulación de hasta el 74 % (Chan y col., 2000).

Por otro lado, Robayo y col. (2020) sinterizaron nanopartículas híbridas de poli (metacrilato de metilo-co-laurilmetacrilato) (PMMA-co-LMA) y poli (metacrilato de 3- (trimetoxisilil)propilo) (PMS) mediante polimerización en emulsión sembrada. Primero, sintetizaron mediante polimerización en emulsión *ab initio* nanopartículas de PMMA-co-LMA como semilla, cabe destacar que utilizaron β -ciclodextrina (β -CD) como catalizador de transporte de fase para facilitar la polimerización del LMA, es decir ayuda a que el LMA se difunda a través del agua de las gotas de monómero a las partículas de polímero en crecimiento. Una vez formado el núcleo de PMMA-co-LMA (en diferentes proporciones) mediante polimerización en emulsión sembrada hicieron crecer una coraza de PMS. A través de esta metodología lograron obtener nanopartículas núcleo - coraza de (PMMA-co-LMA) @siloxano con tamaños cercanos a 50 nm y un rendimiento



superior al 90%. Además, evaluaron estas partículas como vehículos para encapsular Limoneno (LIM) (Robayo y col., 2020).

Van Bavel y col. (2023) sintetizaron nanopartículas de alginato (AlgNP) utilizando alginato hidrolizado con ácido y tratado con enzimas, mediante dos métodos: gelificación iónica y emulsión agua-aceite. El objetivo fue optimizar los parámetros clave para obtener AlgNP pequeñas y uniformes. En el método de emulsión agua-aceite, el crecimiento de las nanopartículas se restringió a micelas inversas dentro de una fase oleosa, lo que resultó en una menor dispersión. Se compararon los efectos de la degradación del alginato mediante hidrólisis ácida y la enzima alginato liasa en cuanto al tamaño y la distribución de las nanopartículas de alginato. Finalmente, se evaluaron las eficiencias de ambos métodos de síntesis y sus características físicas. Se descubrió que, con un ajuste meticuloso de los parámetros, ambos métodos permitieron la obtención de nanopartículas de alginato con tamaños inferiores a 200 nm (Van Bavel y col., 2023).

DESARROLLO DE NANOPARTÍCULAS A PARTIR DE MICROEMULSIONES

You y Peng (2004) obtuvieron nanopartículas de alginato utilizando una microemulsión de agua en aceite como soporte, donde mediante una reticulación iónica con Ca^{+2} entrecruzaron las unidades de ácido gulurónico del alginato. Primero disolvieron dioctil sulfosuccinato de sodio (DOSS o AOT) en tolueno y luego añadieron gota a gota una solución de alginato de sodio al 0.5%, se llevó a agitación y posteriormente añadieron



una solución de cloruro de calcio. Mediante este procedimiento obtuvieron nanopartículas de alginato de calcio, con un tamaño promedio de 80 nm (You y Peng., 2004).

Asimismo, Ting y He (2009) desarrollaron nanopartículas liberadoras de fármacos utilizando materiales naturales, aplicables en diversas áreas. En este trabajo, se fabricaron nanocápsulas a partir de un sistema de microemulsión de tipo w/o empleando alginato de bajo peso molecular (LMWALG) y oligoquitosano (OCS). Las partículas obtenidas presentaron una buena biocompatibilidad y biodegradabilidad. El volumen de las cápsulas se controló ajustando el peso molecular y la concentración de LMWALG y OCS. Mediante un diseño de experimentos ortogonal, se determinó que el tiempo de encapsulación influía en la obtención de un tamaño uniforme de las nanocápsulas. Además, se investigó la liberación del fármaco albúmina de suero bovino (BSA) desde las nanocápsulas. Los resultados revelaron una distribución de tamaño uniforme y una dispersión efectiva bajo agitación magnética durante una hora. Las nanopartículas de CS/TPP se liberaron de manera continua y controlada durante un período de hasta una semana. Estas características destacadas en cuanto a la liberación sostenida del fármaco sugieren que las nanopartículas de CS/TPP podrían tener aplicaciones potenciales (Ting y He, 2009).

Nesamony y col. (2012) sintetizaron nanopartículas de alginato de calcio por precipitación en microemulsión inversa. Primero determinaron la región de microemulsión de dos sistemas, el primer sistema contenía miristrato de isopropilo (MIP), dioctil sulfosuccinato de sodio (DOSS o AOT) como tensoactivo y una solución acuosa de alginato al 0.5% w/w, el otro sistema contenía el MIP, el DOSS y una solución acuosa de CaCl_2 al 0.5% w/w. Una vez



que encontraron la región de microemulsión de ambos sistemas, utilizaron las micelas hinchadas con la solución de alginato como reactores para la síntesis de las nanopartículas. Para ello dosificaron gota a gota la microemulsión de CaCl_2 sobre la de alginato mezclado cantidades iguales de ambas microemulsiones en presencia de ultrasonido por 1 h. El diámetro promedio de las nanopartículas de alginato de calcio fue de 350 nm (Nesamony y col., 2012)

Por otro lado, Podgórna y col. (2017) sintetizaron nanopartículas teranósticas, de alginato de gadolinio (GdNG) mediante microemulsiones inversas y el método de reticulación física, con el fin de utilizarlas como vehículos para transportar fármacos hidrofílicos y para ser rastreados mediante resonancia magnética. Ellos disolvieron surfactante aniónico, dioctil sulfosuccinato de sodio (DOSS o AOT) en tolueno con una proporción 1.70 % p/v. Posteriormente, añadieron un volumen fijo de la fase acuosa (alginato de sodio al 0.5 % p/v o cloruro de gadolinio (III) hexahidratado al 3.5 % p/v) con agitación suave (300 rpm) a la fase oleosa que ya contenía el surfactante, formando así microemulsiones estables. La composición en porcentaje de masa de las microemulsiones fue la siguiente: para la microemulsión de alginato de sodio (SA ME) fue 97.83 % tolueno (TOL), 1.87 % AOT, y 0.30 % SA; mientras que para la microemulsión con iones de gadolinio (III) (Gd^{3+} ME) fue 98.02 % TOL, 1.87 % AOT, y 0.11 % Gd^{3+} . Posteriormente, se mezclaron las dos microemulsiones, que contenían al alginato y los iones de gadolinio (III), y se dejó que ocurriera el proceso de gelificación dentro de las microgotas durante 24 horas. Luego, los nanogeles estabilizados por AOT se extrajeron del tolueno añadiendo 40 ml de una solución de cloruro de sodio (0.015 M) directamente a la suspensión de nanogeles en tolueno. Para eliminar el solvente



tóxico, se utilizó un evaporador rotatorio al vacío o se llevó a cabo una diálisis. Finalmente, los nanogeles de gadolinio se almacenaron en una solución de NaCl 0.015 M (pH 7) a temperatura ambiente. El tamaño promedio de las nanopartículas sintetizadas fue de 110 nm y una concentración de 10^{10} partículas/ml. Además, encapsularon Rodamina B, un tinte fluorescente como compuesto modelo en los nanogeles de GdNG. Mediante RMN pudieron visualizar los nanogeles GdNG/Rodamina (Podgórna y col., 2017).

Rosch y col. (2019) emplearon la técnica de emulsificación de agua en aceite para desarrollar nanotransportadores terapéuticos a base de alginato y quitosano, aprovechando la interacción entre estos biopolímeros. Durante el proceso, la fase oleosa estuvo compuesta por una mezcla de ciclohexano y dodecilamina, que funciona como surfactante para promover la formación de la nanodispersión. La fase acuosa está compuesta por agua que contiene los dos polímeros y el fármaco doxorubicina (DOX). Primero se introduce el alginato en la micela inversa y, una vez formada la emulsión, se añade el quitosano para formar un complejo con el alginato y producir las nanopartículas. Las nanopartículas que obtuvieron fueron altamente uniformes, además evaluaron su eficacia *in vitro* mediante ensayos de viabilidad celular en una línea celular de cáncer de mama murino. El proceso sintético desarrollado demostró ser robusto, produciendo nanotransportadores de alginato-quitosano con un tamaño de partículas inferior a 100 nm (~80 nm de diámetro) y un valor IC50 de 0.15 $\mu\text{g}/\text{mL}$ contra células de cáncer de mama murino T1 (Rosch y col., 2019).



DESARROLLO DE NANOPARTÍCULAS A PARTIR DE NANOMULSIONES

Las nanoemulsiones se definen como emulsiones de tamaño submicrométrico que están siendo estudiadas en profundidad para la síntesis de nanopartículas como posibles vehículos para fármacos, con el objetivo de mejorar la entrega de agentes terapéuticos. Se caracterizan por ser sistemas isotrópicos, estables desde el punto de vista termodinámico, donde dos líquidos que no se mezclan (agua y aceite) se combinan utilizando la cantidad adecuada de surfactantes para alcanzar una mezcla con un diámetro de gota de aproximadamente 0,5 a 100 nm estabilizados por agentes tensioactivos. Estas nanoemulsiones tienen aplicaciones en múltiples sectores, incluyendo la cosmética, y se utilizan en diversas vías administración (Hamid y col., 2021; Flores y col., 2020).

En 2012, Machado y col. (2012) desarrollaron un método para obtener nanopartículas de alginato de calcio con tamaños de 100 a 200 nm, utilizando nanoemulsiones de agua en aceite (w/o). Primero, prepararon una solución de alginato al 2 % en peso disuelto en NaCl 0.1 M para eliminar impurezas sólidas. Luego, dializaron la solución de alginato con NaCl 0.1 M, seguida de agua, utilizando un tubo de diálisis con un límite de peso molecular de 15 kDa (Spectrum) para eliminar los fragmentos de alginato de bajo peso molecular y los contaminantes solubles en agua. Después de la diálisis, la solución fue liofilizada durante seis días. El alginato purificado obtenido se disolvió nuevamente en agua para preparar una solución madre al 2 % en peso, que se diluyó a otras concentraciones según fuera necesario. Para la emulsificación, se utilizó el método PIT (Phase Inversion



Temperature), mezclando monododecil tetraetilen glicol éter ($C_{12}E$, tensoactivo) con decano y soluciones de agua o alginato en diferentes concentraciones (0.5- 2 % en peso). Posteriormente a esas nanoemul-siones se les añado una solución acuosa de 0.5M de $CaCl_2$ para la formación del alginato de calcio. Las nanopartículas obtenidas mediante un procedimiento de extracción suave de las gotitas de emulsión exhibieron un tamaño en el rango de sub-200 nm, con una distribución de tamaño estrecha y una forma esencialmente esférica (Machado y col., 2012).

CONCLUSIONES

Las emulsiones, microemulsiones y nanoemulsiones juegan un papel fundamental en la síntesis y aplicación de nanopartículas, gracias a su capacidad para estabilizar líquidos inmiscibles y generar estructuras con propiedades específicas. Las microemulsiones, en particular, destacan por su pequeño tamaño y alta estabilidad, esto las hace una herramienta fundamental en áreas como la farmacología, la cosmética y la alimentación, facilitando importantes avances en la encapsulación de medicamentos y la liberación controlada. Los métodos innovadores utilizados para su fabricación han logrado desarrollar nanopartículas biocompatibles con aplicaciones de alto impacto, como tratamientos médicos más efectivos y tecnologías avanzadas de imagenología. Los resultados muestran que es posible obtener rendimientos de hasta el 90 % con tamaños de nanopartículas entre 200 nm y 50 nm, lo que



asegura mayor estabilidad y propiedades constantes. Estas características refuerzan el potencial de las emulsiones para transformar diversas industrias, especialmente en la creación de soluciones más eficientes y sostenibles en la entrega de fármacos y en el desarrollo de nuevos materiales.

REFERENCIAS

- Chan, L. W., Lim, L. T. y Heng, P. W. S. (2000). Microencapsulation of oils using sodium alginate. *Journal of Microencapsulation*, 17(6): 757–766. <https://doi.org/10.1080/02652040050161747>
- Dey, S., Datta, S., Dasgupta, S., Mazumder, B., & Pathak, Y. V. (2016). Lipid nanoparticles for topical application of drugs for skin diseases. *Nanobiomaterials in galenic formulations and cosmetics*: 327-361. William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-42868-2.00013-9>
- Fink, J. (2020). Emulsifiers. En J. Fink (Ed.), *Hydraulic fracturing chemicals and fluids technology* (2nd ed): 105-112. Gulf Professional Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822071-9.00013-X>
- Flores-Miranda, G. A., San Martín Martínez, E., Aguilar-Méndez, M. A., Calderon- Dominguez, G., y Yáñez-Fernández, J. (2020). Nanoemulsiones para la encapsulación de compuestos bioactivos. *Avances de investigación en nanociencias, micro y nanotecnologías OmniaScience*: 45–66. <https://doi.org/10.3926/oms.401.2>
- Goutam, S. P., & Saxena, G. (2020). Biogenic nanoparticles for removal of heavy metals and organic pollutants from water and wastewater: Advances, challenges, and future prospects. *Bioremediation for Environmental Sustainability*: 623–636. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820524-2.00025-0>
- Hamid, M. K., Wais, M., y Sawant, G. (2021). A review on nanoemulsions: formulation, composition, and applications. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*. 14 (4): 22-28. <https://doi.org/10.22159/aj.pcr.2021v14i4.40859>.
- Hiemenz, P.C., & Rajagopalan, R. (Eds.). (2016). *Principles of Colloid and*



Surface Chemistry, Revised and Expanded (3rd ed.): 1-61. CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/9781315274287>

Koshiba, Y. y Iritani, T. (2024). Effects of oil phase alkanes on the fire extinguishing efficiency of ferrocene-containing O/W microemulsions. *Fire Safety Journal*, 150: 104254.
<https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2024.104254>

López Mora, Y., Gutiérrez Arenas, D. A., y Cuca García, J. M. (2018). Síntesis de nanopartículas y su aplicación en la nutrición animal. *Agroproductividad*, 11(6): 85-90.

Machado, A. H. E., Lundberg, D., Ribeiro, A. J., Veiga, F. J., Lindman, B., Miguel, M. G., & Olsson, U. (2012). Preparation of calcium alginate nanoparticles using water-in-oil (W/O) nanoemulsions. *Langmuir*, 28(9): 4131-4141. <https://doi.org/10.1021/la204944j>

Mandal, S., Kumar, S. S., Krishnamoorthy, B., Basu, S. K. (2010). Development and evaluation of calcium alginate beads prepared by sequential and simultaneous methods. *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*. 46: 785 - 793.

Méndez Reyes, D. A., Quintero Cerón, J. P., Váquiro Herrera, H. A. y Solanilla Duque, J. F. (2015). Alginato de sodio en el desarrollo de películas comestibles. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 5(2): 089 - 113.

Mirsasaani, S. S., Hemati, M., Tavasoli, T., Dehkord, E. S., Yazdi, G. T., y Poshtiri, D. A. (2012). Nanotechnology and Nanobiomaterials in Dentistry. *Nanobiomaterials in Clinical Dentistry*: 17-33. Elsevier Inc.
<https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3127-5.00002-7>

Muñoz J., Alfaro M. del C., y Zapata I. (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y Aceites*, 58(1): 64-67.

Nesamony, J., Singh, P. R., Nada, S. E., Shah, Z. A., y Kolling, W. M. (2012). Calcium alginate nanoparticles synthesized through a novel interfacial cross-linking method as a potential protein drug delivery system. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 101(6): 2177- 2184.
<https://doi.org/10.1002/jps.23104>

Oropesa-Nuñez, R., y Jáuregui-Haza, U. J. (2012). Las nanopartículas como



CienciAcierta

portadores de fármacos: características y perspectivas Nanoparticles as drug carriers: characteristics and perspectives. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 43: 1–20.

Podgórna, K., Szczepanowicz, K., Piotrowski, M., Gajdošová, M., Štěpánek, F., y Warszzyński, P. (2017). Gadolinium alginate nanogels for theranostic applications. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 153:183–189. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2017.02.026>

Robayo, E. A., Sierra, C. A., y Perez, L. D. (2020). Synthesis of nanoparticles composed of a poly(methylmethacrylate-co-laurylmethacrylate) core and a polysiloxane shell as vehicles for limonene. *Reactive and Functional Polymers*, 151: 104571. <https://doi.org/10.1016/j.reactfunctpolym.2020.104571>.

Rosch, J. G., Winter, H., DuRoss, A. N., Sahay, G., y Sun, C. (2019). Inverse-Micelle Synthesis of Doxorubicin-Loaded Alginate/Chitosan Nanoparticles and In Vitro Assessment of Breast Cancer Cytotoxicity. *Colloids and Interface Science Communications*, 28: 69–74. <https://doi.org/10.1016/j.colco m.2018.12.002>

Sung, J. C., Pulliam, B. L., y Edwards, D. A. (2007). Nanoparticles for drug delivery to the lungs. *Trends in Biotechnology*, 25(12): 563–570. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2007.09.005>

Ting, W. y He, N. (2009). Preparation, characterization and applications of low-molecular-weight alginate–oligochitosan nanocapsules. *The Royal Society of Chemistry*, 2: 230–239. DOI:10.1039/b9nr00125e

Van Bavel, N., Lewrenz, A. M., Issler, T., Pang, L., Anikovskiy, M., y Prenner, E. J. (2023). Synthesis of Alginate Nanoparticles Using Hydrolyzed and Enzyme-Digested Alginate Using the Ionic Gelation and Water-in-Oil Emulsion Method. *Polymers*, 15(5): 1319. <https://doi.org/10.3390/polym15051319>

Wang, G. D., Mallet, F. P., Ricard, F., & Heng, J. Y. Y. (2012). Pharmaceutical nanocrystals. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 1(2): 102–107. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2011.12.001>

You, J. y Peng, C. (2004). Calcium-alginate nanoparticles formed by reverse microemulsion as gene carriers. *Macromolecular Symposia*, 219:



147-153. <https://doi.org/10.1002/masy.200550113>

Zanella, Rodolfo. (2012). Metodologías para la síntesis de nanopartículas: controlando forma y tamaño. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 5(1): 69-81. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-56912012000100069&lng=es&tlng=es.



CienciAcierta

TORSIÓN ANEXIAL COMO CAUSA DE ABDOMEN AGUDO: REPORTE DE CASO Y REVISIÓN DE LITERATURA

ADNEXAL TORSION AS A CAUSE OF ABDOMINAL PAIN: CASE REPORT AND REVIEW OF THE LITERATURE

FABIOLA ÁLVAREZ ROSALES¹

ROBERTO ANTONIO ALVARADO HERNÁNDEZ²

RESUMEN

En el siguiente caso se busca reforzar los conocimientos acerca de las conductas y decisiones a tomar en cuenta frente un dolor abdominal agudo basadas en la clínica del paciente y el protocolo a seguir para identificar la causa del dolor, principalmente basándonos en la clínica de la paciente, los estudios de laboratorio y hallazgos imagenológicos que se nos facilitan en nuestra institución. Presentamos un caso de torsión ovárica y tubárica en una mujer de 23 años con dolor abdominal agudo de predominio izquierdo, el cual se realiza un US trasvaginal a su ingreso detectando una tumoración de 9 cm en anexo izquierdo de contenido quístico que fue tratado mediante laparotomía.

Palabras clave: torsión anexial; laparotomía exploradora; abdomen agudo; cistoadenoma seroso.

1. Ginecología y Obstetricia, Hospital General Universitario de Torreón, UAdeC.
2. Hospital General de Sub-zona # 27 Palau IMSS, Universidad de Monterrey.

Correspondencia
fabiolaalvarez@uadec.edu.m

x

ABSTRACT

In the following case, we seek to reinforce knowledge about the behaviors and decisions to take into account in case of acute abdominal pain based on the patient's symptoms and the protocol to follow to identify the cause of the pain, mainly based on the patient's symptoms, laboratory studies and imaging findings that are provided to us at our institution. We present a case of ovarian and tubal torsion in a 23-year-old woman with acute abdominal pain predominantly on the left, who underwent a transvaginal US upon admission, detecting a 9 cm tumor in the left adnexa with cystic content that was treated by laparotomy.

Fecha de recepción
18 de diciembre de 2024.

Fecha de aceptación
15 de enero de 2025.

Keywords: *adnexial torsion; exploratory laparotomy; acute abdomen; serous cystoadenoma.*

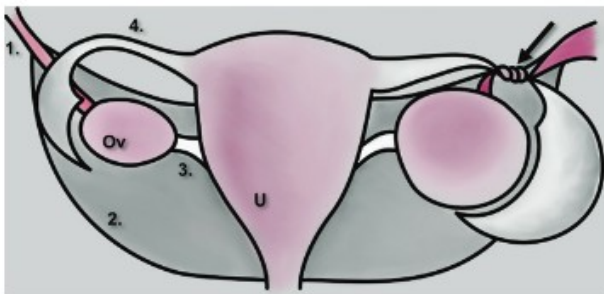
INTRODUCCIÓN

Cuando se habla de torsión anexial se refiere a la rotación parcial o completa de ovario sobre sus soportes o ligamentos y que involucra la salpinge lo que resulta en un cese del flujo o del suministro de sangre. Por lo que el diagnóstico temprano es importante para tratar de preservar la función o bien evitar complicaciones, sin embargo, el diagnóstico puede ser difícil ya que varios de los síntomas suelen ser inespecíficos y solo presentarse como un dolor abdominal agudo.

La torsión de los anexos es una emergencia ginecológica que afecta entre el 2-3 % de las mujeres que presentan dolor pélvico agudo (Dawood y col., 2021).

Figura 1. Diagrama esquemático de ovarios (Ov) y útero (U), a la izquierda las relaciones normales: el ligamento suspensorio del ovario (1), el ligamento ancho (2) y el ovárico (3) y la salpínge (4); a la derecha muestra los cambios anatómicos de la torsión anexial. (Dawood y col., 2022)

En cuanto a la fisiopatología el ovario está suspendido por el ligamento suspensorio del ovario o ligamento infundibulopélvico cuando se produce una torsión el ovario suele girar y provocar una compresión de los vasos ováricos ya que este ligamento suspensorio contiene el pedículo vascular o bien la arteria y vena ováricas y compromete el flujo de salida y entrada arterial linfático y venoso. La torsión anexial suele ocurrir en el 67 % de los casos que incluye el ovario y la salpínge (Gerscovich y col., 2014). El ligamento ovárico une el ovario al útero y por último el ligamento ancho une el útero hacia las paredes laterales (Figura 1). El ovario derecho parece que tiene más probabilidades de sufrir torsión en comparación con el izquierdo, posiblemente porque el ligamento útero-ovárico derecho es más largo que el izquierdo y/o la presencia del colon sigmoide en la pelvis izquierda puede ayudar a



prevenir la torsión en ese lado (Huchon y Fauconnier, 2022).

La torsión crónica provocara en su momento necrosis por lo que la

gravedad del deterioro vascular depende del grado de rotación del anexo alrededor de su eje y de si existe alguna preservación del flujo arterial al ovario desde su suministro dual. Cuando el suministro arterial se ve comprometido, se produce un infarto hemorrágico dentro del ovario (Moro y col., 2020) Hasta llegar a presentar complicaciones tales como adherencias que producen

mayor dolor, hemorragia o peritonitis.

La evaluación en diversos organismos institucionales del país es variable desde la sospecha clínica hasta la atención con posterior resolución quirúrgica pueden pasar de un rango de 7 a 159 horas con un promedio de atención de 87 horas (Anders y col., 2005). En cuanto a epidemiología es la quinta emergencia quirúrgica después del embarazo ectópico, ruptura del cuerpo lúteo con hemorragia, enfermedad pélvica inflamatoria y apendicitis (Bouguizane y col., 2003).

Los factores de riesgo implicados para la torsión ovárica incluyen la presencia de alguna masa móvil dentro de ellos los quistes y neoplasias del ovario es más probable que se produzca una torsión si la masa es mayor a 5 cm pero ello no elimina el riesgo que masas de 1 cm no produzcan torsión. Existe una serie de casos de 87 pacientes donde se produjo torsión con masas que van desde 1 a 30 cm (Houry y Abbott, 2001).

El cuadro clínico en las pacientes es la aparición de dolor pélvico intenso, agudo, punzante que puede presentarse de manera localizada o difusa e irradiarse a la espalda o ingle, acompañado de náusea y vómito. En ocasiones el evento desencadenante puede ser la actividad física vigorosa o un aumento repentino de la presión abdominal. Las anomalías en datos de laboratorio suelen estar ausentes en casos de hemorragia puede provocar anemia o en casos de necrosis leucocitosis.

El uso de imagenología pélvica y transvaginal son la base del protocolo de atención de las pacientes y se puede evidenciar un quiste o masa ovárico o tubárico, el flujo Doppler puede estar presente o ausente, tener un flujo Doppler normal no excluye el

diagnostico de torsión ya que puede ser una oclusión incompleta. En 28 de 32 pacientes con torsión comprobada quirúrgicamente, el pedículo vascular torcido se detectó preoperatoriamente mediante ecografía, lo que muestra una precisión diagnóstica del 87 %. Los flujos arterial y venoso estaban presentes en los vasos torcidos en la ecografía Doppler color en 16 de 28 pacientes con un pedículo vascular torcido visible. (Lee y col., 1998)

Una vez teniendo la sospecha diagnostica se procede a realizar una laparotomía exploradora para confirmar los hallazgos imagenológicos y clínica por lo que la salpingooforectomía esta indicada en casos de perdida de las estructuras o sospecha de malignidad que en este caso se debe seguir un protocolo de atención con marcadores tumorales que por la urgencia no siempre están disponibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estudio observacional descriptivo retrospectivo relacionado al tratamiento donde se evidencia un enfoque quirúrgico.

REPORTE DE CASO

Paciente con las iniciales JACL, femenino de 23 años con fecha de nacimiento del 18/01/2001 que ingresa al servicio de urgencias por dolor abdominal agudo en estudio. Niega antecedentes heredo-familiares de importancia. Originaria de Torreón, ama de casa,

cristiana, casada, cuenta con licenciatura trunca, zoonosis negada, cuenta con esquema de vacunación completo y niega etilismo, tabaquismo o toxicomanías. Dentro de los antecedentes personales patológicos refiere internamientos y quirúrgicos en el 2023 con cesárea por estado fetal no tranquilizador en hospital público de la región con incisión tipo media sin complicaciones aparentes, resto interrogado y negado.

Como datos importantes ginecoobstétricos refiere menarca a los 13 años, ritmo regular con duración de cinco días, desconoce su fecha de última regla, con inicio de vida sexual activa a los 18 años, cuenta con dos parejas sexuales. Niega enfermedades de transmisión sexual. Método de planificación con desogestrel. Detección oportuna de cáncer de mama y de cáncer cervicouterino negado.

Gesta 1: Cesárea en diciembre del 2023 en septiembre donde se obtiene recién nacido vivo femenino con un peso de 3270 gr talla de 51 cm el IMSS 16 ingresa por estado fetal no tranquilizador como cesárea de urgencia con incisión tipo media, niega complicaciones tales como diabetes gestacional o preeclampsia alta en binomio, niega alguna otra complicación o incidente en dicha intervención.

Dentro del padecimiento actual acude paciente procedente de su domicilio por inicio del dolor abdominal de dos días de evolución que ha ido en aumento. A su ingreso niega datos de vasoespasmo, niega síntomas gastrointestinales como náusea y vómito niega síntomas urinarios y vaginitis.

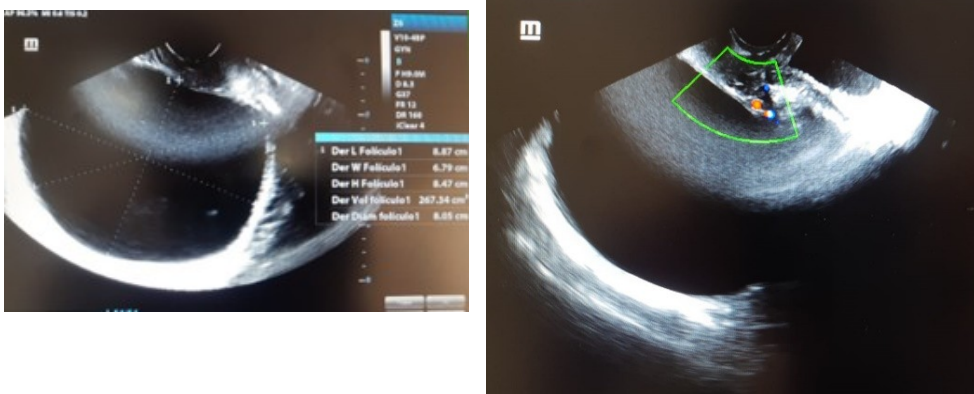


Figura 2. La imagen ecográfica trans-vaginal muestra una gran masa pélvica que contiene un quiste anecoico con alta sospecha de benignidad, la masa mide 8.87x79x8.47 cm con un volumen ovárico de 267 cm³ en anexo izquierdo

Figura 3. La imagen ecográfica transvaginal muestra una gran masa pélvica que contiene un quiste anecoico con alta sospecha de benignidad, la masa cuenta con escasa vascularidad al Doppler (mostrando un flujo anormal presente en el 35-85% de los casos)

A la exploración física la paciente se encuentra neurológicamente íntegra, consciente, orientada, cooperadora, normocéfalo, pupilas isocóricas normorreactivas, adecuada coloración e hidratación de mucosas y tegumentos, cuello cilíndrico sin masas palpables tráquea central y móvil, cardiorrespiratorio sin compromiso, mamas simétricas en estado de congestión fisiológica. Tacto vaginal cérvix posterior sin sangrado vaginal con abombamiento del fondo de saco posterior y doloroso a la movilización, herida quirúrgica por cesárea previa tipo media con adecuada cicatrización, abdomen blando y depresible doloroso a la palpación profunda de predominio izquierdo que cede al reposo ENA 7/10. Genitales externos íntegros, sin lesiones, acorde a edad.

Extremidades integras simétricas llenado capilar de 3 segundos fuerza muscular y sensibilidad conservada, resto de la exploración sin alteraciones aparentes.

A su ingreso se realiza US pélvico sin presencia de líquido libre en cavidad o en fondos de saco, útero desplazado por quiste, se procede a realizar US transvaginal con presencia de quiste dependiente aparentemente de ovario izquierdo de 8.87x8.47x6.79 cm con un volumen de 267.34 cm³ (Figura 2), con escasa vascularidad al Doppler color (Figura 3), de consistencia en su mayoría quística y anecoica, ovario derecho sin alteraciones aparentes, útero sin alteraciones, sin detección de líquido libre en fondos de saco. Paciente se ingresa para protocolo de estudio de tumoración ovárica se solicitan marcadores tumorales, ACE, AFP, CA 19-9 CA 125 para completar el protocolo de estudio.

Cuenta con laboratorios iniciales con una biometría hemática con HB en 12.9 g/dl, Hto 39.4 %, Leu 8.9, Neutrófilos 58 %, Plaquetas 198 K/uL, Hemotipo O+, Glucosa 85 mg/dl, Creatinina 0.9 mg/dl. Tiempos de coagulación TP 12 seg, TPT 26.6.3 seg, INR 1.0 seg. Prueba inmunológica de embarazo negativa. Prueba de anticuerpos anti VIH y VDRL negativos, Procalcitonina <0.20 ng /mL, LDH 120 U/L.

Se le da al paciente un manejo inicial en urgencias con la colocación de una vía periférica y la administración de soluciones, paciente en ayuno con manejo del dolor con analgésico intravenoso. Se solicitan los marcadores tumorales, se hace la valoración y exploración secundaria donde se evidencia un aumento del dolor abdominal ENA 10/10 con irradiación hacia ingle, paciente refiere aumento del dolor posterior a evacuación, sin esperar los marcadores tras el aumento repentino del dolor se



pasa a quirófano para realizar una laparotomía exploradora.

En sala de quirófano se evidencian múltiples adherencias por cirugía o cesárea previa hace dos meses donde no se detectó aparentemente el quiste, se

localiza masa anexial izquierda con torsión anexial de ovario y salpínge izquierda de 10x9x8 cm (Figura 4) se procede a disecar el pedículo para posterior ligadura y corte sin complicaciones (Figura



5) con un sangrado trasquirúrgico de 150 cc, mismo que se envía a patología, así como muestra de líquido peritoneal.

Figura 4. Se puede apreciar torsión de anexo izquierdo (flecha) de una mujer.

Figura 5. Resección quirúrgica de anexo izquierdo por torsión anexial por cistoadenoma seroso de 9 cm.

Valorando su evolución a las seis horas posteriores a evento

quirúrgico: paciente estable sin dolor abdominal ligera molestia en sitio quirúrgico herida de bordes bien afrontados sin datos de infección. Se logra una diuresis de 1200 cc en 24 hrs con DMH de 0.5 ml/kg/hr. A la BH de control se presenta una Hb a 11.0 g/dL y de leucocitos en $8.4 \cdot 10^3/\mu\text{L}$.

En la evaluación de la evolución a las 24 hrs posteriores al ingreso de la paciente y del procedimiento quirúrgico, la paciente continúa estable con signos vitales dentro de rangos meta, sin dolor, deambulación por su cuenta sin alteraciones, tolerando adecuadamente la vía oral y con diuresis y evacuaciones fecales sin alteraciones. Con control de Hb de 11.5 g/dL.

Se reciben los marcadores enviados previamente a la cirugía por medio externo con reporte de antígeno carcinoembrionario ACE en 0.66 ng/ml, antígeno carcinoma ovárico CA-125 19.803 u/ml, CA 19-9 en <1 u/ml y Alfafetoproteína en 2.42 ng/ml, todos dentro den rangos normales.

A los diez días de postoperatorio la paciente se refiere asintomática y tolerando actividades diarias, se retiran puntos sin complicaciones, se obtiene reporte de patología con espécimen quístico de 9x9x6 cm de superficie lisa translúcida con zonas congestivas, con salpinge de luz puntiforme con un diagnóstico de quiste de ovario izquierdo cistoade-noma seroso y salpinge con edema y congestión vascular. De la citología del líquido peritoneal con tinción con hematoxilina-eosina se observan escasas células inflamatorias conformadas por linfocitos y polimorfonucleares negativo a malignidad. Se da de alta por medio de consulta externa sin complicaciones.

DISCUSIÓN

El dolor abdominal agudo es una causa común de consulta por lo que es importante identificar a las pacientes que necesitan tratamiento urgente esto con una evaluación general, evaluación de los signos vitales, se realiza un interrogatorio enfocado a la parte ginecológica de la mano de la exploración y el uso de imagenología como apoyo para la sospecha diagnóstica siendo este último un recurso importante y básico en la evaluación inicial y en la mayoría de los casos será necesaria una evaluación tanto transvaginal como transabdominal (Chang-Patel y col., 2022).

Este proceso suele ser un desafío ya que hay muchos sistemas de órganos que pueden causar dolor pélvico, el diagnóstico diferencial se ve afectado por la edad y el estado reproductivo del paciente (Hart y Lipsky, 2013).

CONCLUSIONES

El dolor abdominal agudo conlleva a una serie de evaluaciones, análisis y exploración minuciosa de la paciente para poder llevar a cabo una toma de decisiones, así como exclusión de diagnósticos por lo que la torsión de los anexos sigue siendo un desafío diagnóstico que depende en gran medida de una alta sospecha clínica, y la presentación del paciente y las imágenes se utilizan como complemento para ayudar en su diagnóstico. Todo ello nos ayuda para poder planificar el proceso quirúrgico y enfoque para así confirmar la sospecha clínica y poder dar resolución a su

principal motivo de consulta que es dolor de inicio abrupto.

REFERENCIAS

- Dawood, M., Naik, M., Bharwani, N., Sudderuddin, S. A., Rockall, A., & Stewart, V. (2021). Adnexal Torsion: Review of Radiologic Appearances. *Radiographics*, 41(2): 609-624.
- Gerscovich, E.O., Corwin, M.T., Sekhon, S., Runner, G.J., Gandour-Edwards, R.F. (2014). Aspecto ecográfico de la torsión de los anexos, correlación con otras modalidades de imagen e historia clínica. *Ultrasonido*, 30(1): 49-55.
- Moro, F., Bolomini, G., Sibal, M., Vijayaraghavan, S.B., Venkatesh, P., Nardelli, F., Pasciuto, T., Mascilini, F., Pozzati, F., Leone, F.P.G., Josefsson, H., Epstein, E., Guerriero, S., Scambia, G., Valentin, L., Testa, A.C. (2020). Imagenología en enfermedades ginecológicas: características clínicas y ecográficas de la torsión anexial. *Ultrasound in Obstetrics & Gynecology*, 56(6):934-943.
- Huchon, C., Fauconnier, A. (2010). Adnexal torsion: a literature review. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology*, 150(1): 8-12.
- Bouguizane, S., Bibi, H., Farhat, Y., Dhifallah, S., Darraji, F., Hidar, S., Lassoued, L., Chaieb, A., Khairi, H. (2003). Les torsions des annexes de l'utérus. Aspects cliniques et thérapeutiques: à propos d'une série de 135 cas [Adnexal torsion: a report of 135 cases]. *Journal de gynécologie, obstétrique et biologie de la reproduction* (Paris), 32(6):535-540.
- Houry, D., Abbott, J.T. (2001). Ovarian torsion: a fifteen-year review. *Annals of Emergency Medicine*, 38(2):156-159. doi: 10.1067/mem.2001.114303.
- Lee, E.J., Kwon, H.C., Joo, H.J., Suh, J.H., Fleischer, A.C. (1998). Diagnosis of ovarian torsion with color Doppler sonography: depiction of twisted vascular pedicle. *Journal of Medical Ultrasound*, 17(2): 83-89. doi: 10.7863/jum.1998.17.2.83.



CienciAcierta

- Chang-Patel, E. J., Palacios-Helgeson, L. K., & Gould, C. (2022). Adnexal torsion: a review of diagnosis and management strategies. *Current Opinion in Obstetrics & Gynecology*, 34(4): 196-203.
- Hart, D.K., Lipsky, A.M. (2013). Dolor pélvico agudo en la mujer. En: Rosen's Emergency Medicine, 8th, Marx J, Hockberger R, Walls R (Eds), Saunders, Filadelfia, p.2808.



CienciAcierta

RELACIÓN DE LA LACTANCIA MATERNA CON LA CARIES DENTAL

RELATION BETWEEN BREASTFEEDING AND DENTAL DECAY

RESUMEN

La lactancia materna exclusiva (LME) en los primeros seis meses de vida es el método más adecuado de nutrición del bebé: fomenta su crecimiento, estimula funciones inmunológicas y psicológicas, promueve el desarrollo del sistema estomatognático (SE), del complejo craneofacial y la salud bucal. La Organización Mundial de la Salud (OMS) aconseja la LME hasta los seis meses y acompañada de alimentación complementaria (AC) hasta los dos años de edad. La caries es una afección causada por múltiples factores; se plantea que la LME tiene cierta relación con la aparición de la enfermedad, lo cual ha sido un tema controvesial durante los últimos años. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión de la literatura para comprender la relación de la LM con la caries dental en los primeros años de vida del niño. Materiales y métodos. Se realizó una revisión de la literatura usando diversas bases de datos, como PubMed, Google Scholar, Scielo y Elsevier, así como diversos estudios donde se encontraron 47 artículos de diversos tipos. Se realizó utilizando palabras claves incluyendo algunas combinaciones como LME, salud oral, sistema inmunológico, caries, beneficios de la lactancia materna, nutrición, componentes inmunológicos.

DIANA ANTONIETA FLORES
FLORES

PATRICIA TORRES REYES

ENRIQUE CAVAZOS LÓPEZ

FERNANDA SOFÍA SÁNCHEZ
RODRÍGUEZ

XIMENA SAUCEDO MANCHA

Facultad de Odontología,
Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
dianafloresflores@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-2031-7924>



CienciAcierta

Palabras clave: lactancia materna; caries dental; nutrición.

Fecha de recepción
29 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
1 de abril de 2025.

ABSTRACT

Exclusive breastfeeding (EBF) in the first six months of life is the most appropriate method of infant nutrition, promoting growth, stimulating immunological and psychological functions, as well as promoting the development of the stomatognathic system (SS), the craniofacial complex, and oral health. The World Health Organization (WHO) recommends EBF until six months and accompanied by complementary feeding (CF) until two years of age. Caries is a condition caused by multiple factors. It is suggested that BF has a certain relationship with the appearance of the disease, which has been a controversial issue in recent years. Therefore, this work aims to carry out a literature review to understand the relationship of BF with dental caries in the first years of a child's life. Materials and methods. A literature review was carried out using various databases, such as PubMed, Google Scholar, Scielo, and Elsevier, as well as various studies where 47 articles of various types were found. It was carried out using keywords such as LME, oral health, immune system, caries, benefits of breastfeeding, nutrition, immunological components.

Keywords: breastfeeding; tooth decay; nutrition.

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS), en colaboración con el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF)



desarrollaron una estrategia en torno a la LM (lactancia materna) con el objetivo de guiar a las gestantes sobre una adecuada nutrición en bebés y niños pequeños, y de incorporar a los servicios de salud para que promuevan la LME y la AC en sus instituciones de salud (Salud, 2003).

Según la OMS, la alimentación con LME es uno de los métodos más eficaces para garantizar y proteger la salud de los niños. Aunque estas recomendaciones han sido publicadas durante mucho tiempo, menos de la mitad de los lactantes gozan de una alimentación con LME en muchas regiones del mundo. Es esencial en los primeros seis meses de vida, considerándola como el método más efectivo para proteger el crecimiento y desarrollo de los niños (Organization, 2023).

La LM, por su gran cantidad de componentes inmunológicos, es considerada como la primera vacuna que recibe el lactante tras su nacimiento. Es el alimento óptimo para los lactantes por ser segura y contener anticuerpos que robustecen al sistema inmunológico. Se reconoce como un mecanismo de compensación emocional, nutricional y de supervivencia, para que el bebé se desenvuelva y crezca emocionalmente saludable (Machado y col., 2005).

Durante el embarazo y la etapa de LME ocurren cambios anatómicos, fisiológicos y en el metabolismo, es por esto que se requiere un incremento en los nutrientes promoviendo así un buen crecimiento y producción de leche materna.

Alimentarse no es lo mismo que nutrirse. La alimentación es un proceso fluctuante en el que se seleccionan los alimentos, mientras que en la nutrición el cuerpo asimila, modifica y utiliza los nutrientes presentes en los alimentos seleccionados. Es por esto

que la nutrición es vital en el crecimiento y desarrollo, ya que hay una relación entre el crecimiento general y el del SE; alteraciones en la boca puede ocasionar deficiencias nutricionales determinando la capacidad masticatoria, interfiriendo con la percepción del gusto y el placer de comer; y si estas funciones están alteradas no se dará un crecimiento óptimo. Por lo tanto, se aconseja que el odontólogo también participe en la promoción de la odontología prenatal, nutrición durante el embarazo, LM y la nutrición y cuidados en los primeros años de vida del bebé. Los primeros mil días es un período clave en el cual es posible adoptar hábitos o estilos de vida que van a influenciar al futuro del bebé. En este período se determinan mejores indicadores de salud bucal y general por medio de la programación (Abanto y col., 2020).

Un programa de salud oral en la gestante abarca motivación y educación sobre la importancia de proteger su salud bucodental y la de su familia, promover hábitos higiénicos y de alimentación saludables, implementar acciones preventivas específicas, detectar signos o síntomas indicativos de patología bucal y efectuar tratamientos, al menos en aquellos procesos que ocasionen enfermedad bucal durante el embarazo y así mismo facilitar la información para la salud bucal futura de su hijo. Por lo anterior el objetivo de este estudio fue realizar una revisión bibliográfica para ampliar el conocimiento de la importancia de la lactancia materna y su relación con la salud bucal.

2. IMPORTANCIA DE LA LACTANCIA MATERNA

Los infantes que son alimentados únicamente con LM durante los primeros seis meses de vida, a libre demanda y más allá de los seis meses con AC, logran una hidratación adecuada, incluso sin necesidad de consumir otros líquidos para aliviar la sed. Además de una buena nutrición, disminuye la morbilidad, ya que se ha relacionado con un menor riesgo padecer enfermedades como obesidad, asma, diabetes, cáncer, disminuyendo muertes tempranas. También se asocia con un mejor desarrollo cognitivo, social, emocional, de lenguaje y habilidades motoras más finas. No solo trayendo beneficios para el bebé, sino también para las madres.

La LM ofrece múltiples ventajas para aquellas mujeres en etapa postparto, cómo minimizar el riesgo de sobrepeso y obesidad, sangrado después del parto, así como de padecer diabetes y cáncer de mama (Onyango y col., 2022).

2.1 CONTENIDO DE LA LECHE MATERNA Y APORTACIONES INMUNOLÓGICAS

Los primeros años de vida del ser humano son cruciales para su desarrollo y maduración; es una etapa de vulnerabilidad, en la que el crecimiento y desarrollo de sus órganos vitales y su sistema inmunológico se están preparando para futuras enfermedades. Por lo tanto, la alimentación durante los primeros meses de vida es fundamental para el desarrollo de todo aquello que abarca las necesidades del lactante.

La leche materna posee un sin fin de ventajas que contribuyen a prevenir numerosas enfermedades comunes (Monet Álvarez y col.,

2022). Es un alimento complejo que posee un alto contenido de componentes como células, sustancias químicas y nutrientes.

A pesar de los avances tecnológicos, no ha sido posible encontrar una réplica de todos los componentes de la LM de manera artificial o por medio de biotecnología, lo que impide que las fórmulas alcancen sus mismos efectos en el organismo del lactante, por este motivo la orientación y recomendaciones para la LM debe siempre estar presente en la gestante (Macías y col., 2006).

2.2 COMPONENTES

Dentro de la leche materna existen diferentes componentes importantes, como nitrogenados y enzimas (Tabla 1), carbohidratos, lípidos y minerales (Tabla 2), y vitaminas (Tabla 3).

Tabla 1. Componentes nitrógenados y enzimas

| COMPONENTES NITROGENADOS | | | |
|--|---|--|---|
| Nitrógeno Proteico 75% | | Nitrógeno No Proteico 25% | |
| Caseína Estimula el sistema inmunológico. Ayuda a la absorción del Calcio. Tiene actividad antitrombótica y antihipertensiva. | Proteína del suero 1.Lactoalbúmina Cistina y Tropofanos que ayudan a la síntesis de la lactosa. 2.-Lactoferrina Presente en grandes cantidades en el calostro. Absorbe el hierro. Actua contra infecciones intestinales en el bebé. | Taurina Presente en el SNC. Participa en la conjugación de ácidos biliares. Su carencia en fases iniciales puede influir en la función retiniana. | Nucleótidos Funcionan como inmunomoduladores, fomentan la aparición de bifidobacterias en la flora intestinal y potencian la maduración y proliferación gastrointestinal (Macías y col., 2006) |
| ENZIMAS LACTEAS | | | |

| | |
|--|--|
| <p>Lizosima Es la más abundante. Actúa como bactericida en el intestino del lactante.</p> | <p>Lipasa Permanece en el tracto gastrointestinal. Estimulada por niveles reducidos de sales biliares, generando glicerol y ácidos grasos libres. Esto favorece la asimilación de grasas en el recién nacido. Propiedades antimicrobianas (Macías y col., 2006)</p> |
|--|--|

Tabla 2. Carbohidratos, lípidos y minerales

| | | |
|--|---|---|
| <p>CARBOHIDRATOS</p> | <p>Lactosa Carbohidrato esencial que se produce en la glándula mamaria a partir de glucosa. Da energía al bebé para un buen crecimiento y desarrollo. Promueve el establecimiento de flora acidófila y fomenta la absorción del calcio.</p> | <p>Oligosacáridos Son el tercer componente de la leche después de la lactosa y grasa. Actúa como probiótico al promover el desarrollo de bifidobacterias en el intestino, produciendo un pH ácido que detiene el crecimiento de microorganismos patógenos. Provee ácido siálico y galactosa para el desarrollo cerebral.</p> |
| <p>LÍPIDOS Las grasas presentes en la leche materna dan energía al bebé y constituyen el 50% de las calorías totales. Son proveedores de ácidos grasos y de la absorción de vitaminas liposolubles.</p> | <p>Trigliceridos (98%) Oleico: Presente en la mielina del SNC</p> | <p>Saturados (47%) Insaturados (58) Los poliinsaturados participan en el crecimiento y maduración del SNC del recién nacido. En el cerebro y la retina del neonato predominan los ácidos araquidónico y docosahexaenoico contribuyendo al desarrollo neurológico y de funciones visuales.</p> |
| <p>MINERALES</p> | <p>La LM proporciona minerales con alta biodisponibilidad como calcio, fósforo, hierro, zinc, cobre. El 99% del calcio se encuentra en los huesos y dientes en la forma de fosfato de calcio, proporcionando dureza y estructura, mientras que el 1% restante se encuentra en líquidos extracelulares y membranas celulares. Su asimilación en la leche materna es de</p> | |



| | |
|--|--|
| | <p>55% en comparación con el 38% en leche bovina.</p> <p>El fósforo esta un 23% unido a proteínas, cerca del 15% se encuentra como fósforo inorgánico y el resto está vinculado a lípidos.</p> <p>El hierro contribuye en la producción de glóbulos rojos y al traslado de oxígeno e influye en el desarrollo cognitivo. La leche materna representa una fuente de hierro, con alta biodisponibilidad en los primeros meses de vida.</p> <p>El zinc contribuye en el desarrollo del sistema inmunológico, forma parte de algunas hormonas, es cofactor de enzimas que participan en procesos metabólicos.</p> <p>Cobre, esencial para la utilización del hierro y cofactor de enzimas que participan en el metabolismo de la glucosa y en la producción de hemoglobina, tejido conectivo y fosfolípidos (Macías y col., 2006).</p> |
|--|--|

Tabla 3. Vitaminas

| | |
|--|---|
| <p>VITAMINAS</p> <p>La leche materna presenta suficientes cantidades de vitaminas para el normal crecimiento del bebé a excepción de algunas. La leche actua como vehículo de las vitaminas liposolubles.</p> | <p>Vit. K: Evita hemorragias hasta la estabilización de la flora intestinal durante los primeros años de vida debido a que se encuentra en reducidas cantidades y esta relacionada con el proceso de coagulación sanguínea.</p> <p>Vit D: Posee propiedades hematopoyéticas e inmunoreguladoras. Contribuye a la mineralización del tejido ósea al aumentar la absorción intestinal de calcio y fósforo y la reabsorción de calcio en riñones.</p> <p>Vit E: Se atribuyen propiedades antioxidantes.</p> <p>Vit A: Importante en la visión, para el crecimiento, la reproducción, el desarrollo fetal y la respuesta inmunológica.</p> <p>Vit C: El ácido ascórbico es un agente antioxidante, promueve la absorción del hierro y participa en su metabolismo. Además, es un cofactor en reacciones enzimáticas que intervienen en el desarrollo del cartílago y el hueso.</p> <p>(Macías y col., 2006; Ballard & Morrow, 2013)</p> |
|--|---|

La composición de la LM va cambiando a lo largo del período de lactancia.

CALOSTRO

Se genera aproximadamente 40 ml en 24 hrs, cantidad compatible con la capacidad gástrica del bebé. Son solo pequeñas gotas, suficientes para los requerimientos para ese momento; en ocasiones la madre puede tener confusión pensando que hay falta de producción.

Posee una textura suave, pegajosa y un tono amarillento debido a la presencia de β -carotenos (García-López, 2011). Se considera la primera vacuna inmunológica para el bebé. Entre el tercer y el quinto día llega la fase de mayor producción de 40ml pasa a 800ml, dura una semana.

Durante los primeros día el calostro contiene altas cantidades de componentes inmunológicos como la lactoferrina así como de inmunoglobulinas principalmente IgA secretoria, la cual dentro de sus funciones, impide la adhesión de patógenos al epitelio intestinal y la unión de toxinas, evitando la inflamación causada por la respuesta inmune, influye en la microbiota intestinal. La IgG se encarga de la opsonización (mecanismo inmunológico que desempeña una función esencial en la protección del organismo frente a infecciones por patógenos, como bacterias, virus, hongos y parásitos) (Rojas Espinosa & Arce Paredes, 2004); IgM también contiene leucocitos, factores de desarrollo como factor de crecimiento epidérmico (Castellote y col., 2011), niveles bajos de lactosa, lo que indica que sus funciones primarias son más inmunológicas que nutricionales. Además contiene proteínas, vitaminas liposolubles, sodio, cloruro, magnesio (Pang &

Hartmann, 2007).

El calostro se produce en la glándula mamaria. Resulta importante para la formación de anticuerpos contra virus y bacterias, evita la penetración en la mucosa intestinal, lo que se consigue gracias a su resistencia a la proteólisis y su estabilidad a pH bajo (Ballard & Morrow, 2013; Munblit y col., 2011).

El calostro resguarda contra infecciones y reacciones alergias ya que proporciona inmunidad pasiva al recién nacido por absorción intestinal de inmunoglobulinas; tiene efectos laxantes que ayudan a la expulsión del meconio por su contenido de motilina (García-López, 2011).

LECHE DE TRANSICIÓN

Con el cierre de las uniones en el epitelio mamario, la relación de sodio y potasio disminuye y la concentración de lactosa se eleva, lo que señala activación secretora y producción de leche de transición (García-López, 2011).

Ocurre posterior al calostro y dura entre cinco y diez días. Su tono blanco es el resultado de la emulsificación de grasas y a la presencia de caseinato de calcio. Las concentraciones de lactosa, grasas, calorías, vitaminas hidrosolubles, incrementan paulatinamente por aumento de colesterol y fosfolípidos y vitaminas hidrosolubles.

La leche de transición tiene ciertas características del calostro, representa un período de producción de leche "aumentada" y ocurre entre cinco días y dos semanas posteriores al parto, en los que la leche ya se considera madura (Ballard & Morrow, 2014).

LECHE MADURA

La leche madura se produce en el día 15 del parto y continúa por 15 meses. Contiene agua en un 87 %, por lo que no se requiere que al bebé lo hidraten con agua ya que así cubre los requerimientos.

Aporta energía a través de los carbohidratos y grasas al sistema nervioso central. La lactosa es el principal hidrato de carbono que contiene, favorece el desarrollo de la flora intestinal por las bifidobacterias evitando el crecimiento de microorganismos y optimizando la absorción del calcio (García-López, 2011).

3. CARIES DENTAL

La caries dental es una enfermedad compleja multifactorial. Es un proceso patogénico, que presenta síntomas clínicos donde hay factores de riesgo predisponentes. Se trata de una infección microbiana caracterizada por la destrucción de los tejidos calcificados del diente debido a la acción de las bacterias presentes en la placa dental. La caries se manifiesta con lesiones progresivas que, si no se tratan, se expandirán y propagarán hacia la pulpa dentaria, provocando inflamación, dolor y en ocasiones, necrosis y pérdida de vitalidad del diente. Sin embargo, la caries no es un proceso sencillo y unidireccional de desmineralización, sino que puede ser cíclica, alternando etapas de desmineralización con periodos de remineralización, lo que permite la reparación y prevención (Caroundaninidy & Sathyanarayanan, 2009).

En 2019 en Frankfurt, Alemania, el Grupo de Investigación de Cariología de la IADR realizó un taller sobre la terminología de la Caries Dental y su Manejo, definiéndola como una "enfermedad dinámica multifactorial, no transmisible, mediada por biofilm,



modulada por la dieta que produce una pérdida mineral de los tejidos duros (balance entre desmineralización y remineralización) y determinada por factores biológicos, conductuales, psicosociales y ambientales”(MacHiulskiene y col., 2020).

3.1 CARIES TEMPRANA DE LA INFANCIA

La caries temprana en la niñez (CTI) es un término específico que identifica la presencia de caries en uno o varios órganos dentales temporales en niños en edad preescolar de 0 a 60 meses. En infantes menores de tres años, las formas graves de CTI se caracterizan por lesiones cariosas en superficies lisas, típicamente en los incisivos superiores (Berg & Slayton, 2016).

La Academia Americana de Odontología Infantil describe el concepto de CTI como la presencia de una o más lesiones cavitadas, no cavitadas o ausentes en niños menores de tres a cinco años (Dentistry, 2020).

Las lesiones pueden variar desde la desmineralización hasta la pérdida de la estructura dental o la completa destrucción de la corona. Se trata de un proceso de deterioro dinámico y activo que se caracteriza por distintos momentos de destrucción y reparación (Broumand y col., 2006).

La incidencia de CTI ha experimentado un aumento en varios países. En la mayor parte de los países desarrollados, la prevalencia se encuentra entre 1 y 12 %, mientras que en naciones menos desarrollados puede alcanzar hasta 70 % (Congiu y col., 2014).

La CTI tiene algunas consecuencias, como el mayor riesgo de nuevas lesiones cariosas tanto en la dentición decidua como en la



permanente, hospitalizaciones, aumento en el costo de tratamientos, ausencias escolares y disminución de la calidad de vida relacionada con la salud bucal (Dentistry, 2020).

En general, la enfermedad de caries está relacionada con algunos factores que aumentan su predisposición, como la malnutrición, predisposición genética, deterioro de la salud, hábitos alimentarios particulares, la existencia de microorganismos asociados a la caries dental como los estreptococos, y la carencia de flúor y vitamina D, alto consumo de azúcar y la prolongada alimentación con biberón, además de otros factores como la edad, el sexo y la ubicación geográfica de los niños, están relacionadas con la aparición de la caries dental (Moynihan & Petersen, 2004).

3.2 RELACIÓN DE LA LACTANCIA MATERNA EXCLUSIVA CON LA CARIES DENTAL

Hablar de la relación de la LM con la enfermedad de caries dental ha sido un tema de controversia. Se sabe que la OMS recomienda la LME bajo demanda desde de la primera hora tras el nacimiento hasta los seis meses, seguida de una continuación parcial de la lactancia materna acompañada de alimentación complementaria durante hasta dos años, y aún así, hay profesionales que recomiendan que la LM sea únicamente por seis meses debido a la idea de que pueda existir un mayor riesgo de caries. Es por esto, por lo que el Comité de Lactancia de la AEP (Comité de Lactancia Materna, 2015) emitió en 2015 un comunicado indicando todavía no existe evidencia científica sobre la relación entre LM y caries.

Por lo anterior, sería conveniente cuestionar si los niños que se alimentan con leche materna presentan más caries dental en la



dentición primaria comparado con los niños alimentados con biberón. La pregunta de si la alimentación con biberón es más cariogénica que la lactancia materna sigue sin resolverse, incluso hoy en día. Algunos autores no han identificado una asociación entre ellas (Ávila y col., 2015). Hoy en día aún no existe un acuerdo entre estos hallazgos, por tal motivo se recomiendan más estudios.

El Comité de Lactancia Materna de la AEP menciona que para que la caries dental se presente son necesarios varios factores (Tabla 4).

Tabla 4. Factores relacionados de la caries dental con la lactancia materna.

| | |
|---|---|
| Presencia de dientes | Durante la LME en los primeros 6 meses no hay relación ya que en estas fechas la norma es que no hay dientes, a menos que sea en aquellos casos donde el bebé tenga dientes natales o neonatales(De la Teja-Ángeles et al., 2011) |
| Bacterias cariogénicas | El más frecuentemente es el Streptococcus mutans (SM). La caries es causada por diferentes microorganismos entre ellos está el SM. Cuando hay una enfermedad infecciosa el patógeno no esta presente en condiciones de salud, este se considera un invasor, ya que no son parte de la flora normal, por eso se considera un invasor desarrollando enfermedad, lo mismo pasa en la caries dental. Estas bacterias relacionadas con la caries dental nacen y mueren con el ser humano independientemente de que se pueda o no transmitir a los niños a través de la inoculación involuntaria por parte de los padres y el hecho de tenerlas en boca es relación para desarrollar enfermedad en el desequilibrio entre higiene y dieta. Todos tenemos SM y no todos tiene caries. En una enfermedad infecciosa clásica la enfermedad se transmite de una persona a otra, en la caries no. |
| Alimentos ricos en carbohidratos | Los primeros mil días es un período clave para adoptar hábitos saludables en el núcleo familiar por lo que se recomienda no introducir a la dieta del niño carbohidratos |

| | |
|------------------------------|--|
| | antes de los 2 años de edad(Sihuay-Torres et al., 2023). |
| Tiempo | El tiempo que duran las bacterias adheridas al diente junto con una higiene deficiente aumentan el riesgo. |
| Factores individuales | Los factores individuales que predisponen la enfermedad de caries, como disminución del flujo salival, defectos del esmalte, alteraciones anatómicas, falta de higiene bucal, etc. |

Además de las ventajas que la leche materna tiene sobre la salud en general, también lo tiene sobre la salud bucal: como la secreción de saliva ayudando a actuar contra las bacterias con más facilidad, favorece el crecimiento del sistema estomatognático evitando maloclusiones, ya que la actividad muscular que el lactante ejerce es mayor, a diferencia de los niños que son alimentados con biberón, favoreciendo las funciones de succión, deglución y respiración obligándolo a respirar por la nariz, ayudando a colocar en buena posición la lengua y a que el paladar adquiera la forma apropiada, también presenta factores protectores como enzimas, inmunoglobulinas, pH neutro, calcio y fosfato, evitan el desarrollo de lesiones de caries, sin embargo es fundamental controlar el resto de los factores de riesgo (Abanto y col., 2020).

La LM sigue siendo ampliamente aceptada por las madres, pero aun sigue habiendo dudas de cual de las formas de alimentación del bebé tiene menos relación con la aparición de caries temprana, si es alimentación con LM de manera prolongada o si la combinación del uso de biberón y lactancia de manera nocturna sean factores de riesgo para la aparición de caries temprana (García Blanco et al., 2022; Maldonado Ramírez y col., 2010).

Algunos estudios han mostrado que la LM es más eficaz en la prevención de caries que el uso de biberón, en los cuales no tomaron en cuenta otros factores como hábitos de higiene,

consumo de azúcares agregados en las tomas de biberón, alimentación durante la noche, la higiene bucal.

La lactancia materna en el primer año de vida no incrementa el riesgo de caries, e incluso puede brindar ciertas defensas para niño en comparación con el uso de fórmula para bebés. Aun así es importante ya que algunos autores mencionan que aunque la lactancia no sea el factor principal de la caries dental, los niños pueden presentarla, por lo que es importante educar a las madres y establecer estrategias de prevención (Tham y col., 2015).

Por otro lado, prolongar la lactancia después de los 12 meses está asociado con un mayor riesgo de caries. Se ha detectado una correlación directa entre la lactancia materna prolongada, hasta los 24 meses o más, y la gravedad de las caries en los dientes primarios, sin importar la cantidad de azúcar consumida. No obstante, después del primer año, la evaluación de este riesgo puede ser complicada por factores desconocidos o no considerados, especialmente si la alimentación es frecuente y persiste la lactancia nocturna. Las recomendaciones específicas sobre la duración de la lactancia varían según los hábitos alimentarios en diferentes países y es importante tener en cuenta los factores de confusión identificados en estudios con alta evidencia (Branger y col., 2019).

En 2016 se publicó un estudio en la serie de The Lancet de LM (Victoria y col., 2016), en la cual analizaron los efectos que la LM para el ser humano, en países de altos y bajos ingresos se realizaron 49 estudios, los análisis de los resultados en relación con la salud bucal mostraron que la LM se relacionó con una disminución del 68 % en las maloclusiones (K. G. Peres, Cascaes, y col., 2015), estos estudios se limitaron a niños pequeños con



dientes deciduos (Onyeaso & Isiekwe, 2008; Peres y col., 2015b) y también mencionan que cuando se alimenta con leche materna por más de 12 meses, junto con la alimentación nocturna, hay un aumento de dos a tres veces en predisposición a la caries dental en dientes deciduos, posiblemente debido a una higiene bucal inadecuada después de la alimentación (Tham y col., 2015).

La LM a demanda implica alimentar al bebé cada vez que lo desee, desde el momento del nacimiento hasta que la mamá lo decida, sin seguir horarios preestablecidos ni preocuparse por la duración de cada toma. Se recomienda que esta toma a libre demanda sea hasta los seis meses y a partir de ahí realizarlo por horarios ya que a partir de esta edad inicia con la alimentación complementaria.

Se presenta a continuación un cuadro comparativo con los estudios que se revisaron presentando los resultados obtenidos (Tabla 5).

Tabla 5. Resumen de los resultados de los artículos que se incluyen en el estudio.

| REFERENCIA | TEMA | METODOLOGÍA | CONCLUSIONES |
|-------------------------------|--|--------------------------------------|--|
| Abanto y col. (2020) | Salud bucal en los primeros 1000 días del bebé | Revisión de la literatura | Importancia del cuidado bucal temprano y su impacto en la salud general. |
| Ávila y col. (2015) | Lactancia y caries dental | Revisión sistemática y meta-análisis | La lactancia prolongada en combinación con otros factores puede aumentar el riesgo de caries. |
| Ballard & Morrow (2013, 2014) | Composición de la leche humana | Revisión científica | La leche materna contiene nutrientes y factores bioactivos esenciales para el desarrollo infantil. |
| Berg & Slayton (2016) | Salud bucal en la infancia | Revisión | Resalta estrategias preventivas para la caries en niños pequeños. |
| Bowen & Lawrence (2005) | Cariogenicidad de diferentes líquidos | Estudio comparativo | La leche humana es menos cariogénica que la sacarosa, pero aún tiene cierto riesgo. |
| Branger y col. (2019) | Lactancia y caries infantil | Revisión de literatura | Sugiere que la lactancia nocturna sin higiene oral puede aumentar el riesgo de caries. |
| Broumand y col. (2006) | Indicadores de caries | Estudio observacional | La higiene bucal es clave en la prevención |



| | | | |
|--|---|-------------------------|---|
| | en dientes primarios | | de caries en niños de 3-6 años. |
| Caroundaninidy & Sathyanara-yanan (2009) | Cambio en la comprensión de la caries dental | Revisión | Plantea una nueva visión sobre la caries dental y su prevención. |
| Castellote y col. (2011) | Impacto del parto prematuro en la leche materna | Estudio clínico | La composición inmunológica de la leche materna varía según la prematuridad. |
| Congiu y col. (2014) | Dieta y prevención de enfermedades dentales | Estudio epidemiológico | La nutrición adecuada reduce la incidencia de caries y otras afecciones orales. |
| Cui y col. (2007) | Lactancia y caries infantil | Metaanálisis | Encuentra una correlación entre lactancia prolongada y caries temprana. |
| De la Teja-Ángeles y col. (2011) | Dientes natales y neonatales | Estudio de casos | Los dientes natales pueden requerir intervención odontológica temprana. |
| AAPD (2020) | Caries en la infancia temprana | Declaración de política | Propone estrategias de prevención para reducir la caries en niños pequeños. |
| Feldens y col. (2010) | Prácticas alimenticias y caries severa. | Estudio de cohorte | La alimentación temprana influye en el desarrollo de caries severa. |
| García-López (2011) | Inmunología de la leche materna | Revisión | La leche materna juega un papel crucial en la protección contra infecciones. |
| García Blanco y col. (2022) | Lactancia y caries infantil | Revisión | Existe una relación entre lactancia materna prolongada y caries si no hay higiene bucal adecuada. |
| Haag y col. (2019) | Lactancia y caries en niños aborígenes australianos | Estudio epidemiológico | No se encuentra una asociación directa significativa entre lactancia y caries. |
| Kerr y col. (2015) | Microbiota y salud metabólica | Revisión crítica | La microbiota temprana influye en la salud a largo plazo. |
| Machado y col. (2005) | Odontología en bebés | Protocolos clínicos | Plantea estrategias preventivas y restauradoras en la atención temprana. |
| Machiulskiene y col. (2020) | Terminología y manejo de caries | Consenso de expertos | Propuesta de terminología estandarizada y enfoques de manejo. |
| Macías y col. (2006) | Factores que afectan la composición de la leche materna | Revisión científica | Factores maternos influyen en la calidad de la leche. |
| Maldonado Ramírez y col. (2010) | Lactancia materna como factor protector | Revisión de estudios | Sugiere que la lactancia materna protege contra la caries dental. |
| Monet Álvarez y col. (2022) | Beneficios inmunológicos de la lactancia | Revisión | La leche materna refuerza el sistema inmune infantil. |
| Moynihan & Petersen (2004) | Dieta y caries dental | Revisión de literatura | La dieta influye significativamente en la salud dental. |
| Moynihan y col. (2019) | Factores de riesgo modificables para la caries infantil | Revisión sistemática | Identifica factores de riesgo que pueden reducirse para prevenir caries. |
| Munblit y col. (2011) | Leche humana y enfermedades alérgicas | Revisión sistemática | Existe relación entre la lactancia materna y menor riesgo de alergias. |
| Onyango y col. (2022) | Lactancia y desarrollo infantil | Estudio observacional | Lactancia exclusiva está relacionada con mejores resultados en desarrollo infantil. |
| Onyeaso & Isiekwe (2008) | Cambios oclusales en denticiones primarias | Estudio longitudinal | El desarrollo oclusal varía en la transición dentaria. |
| WHO (2023) | Alimentación infantil | Informe oficial | Promueve la lactancia exclusiva como estándar de salud pública. |



| | | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|--|
| Pang & Hartmann (2007) | Inicio de la lactancia materna | Estudio biológico | Describe los procesos de activación de la producción láctea. |
| Peres y col. (2015a) | Lactancia y maloclusiones | Metaanálisis | Lactancia materna exclusiva está asociada con menor riesgo de maloclusiones. |
| Peres y col. (2015b) | Maloclusión en dentición decidua y ortodoncia futura | Estudio de cohorte | Maloclusiones en la infancia predicen necesidad de ortodoncia. |
| Peres y col. (2009) | Cariogenicidad de distintos tipos de leche | Estudio experimental | La leche de fórmula tiene mayor potencial cariogénico que la leche materna. |
| Roberts y col. (2013) | Lactancia y equidad en salud infantil | Análisis global | La lactancia materna reduce desigualdades en salud infantil. |
| Rojas Espinosa & Arce Paredes (2004) | Fagocitosis y sus consecuencias | Revisión | Mecanismos de defensa inmunitaria son clave en la prevención de infecciones. |
| WHO (2003) | Estrategia mundial de alimentación infantil | Documento oficial | Recomienda lactancia materna exclusiva durante los primeros seis meses. |
| Selwitz y col. (2007) | Caries dental | Revisión en The Lancet | La caries es una enfermedad multifactorial con impacto global. |
| Sihuay-Torres y col. (2023) | Salud bucal en los primeros 1000 días de vida | Revisión de literatura | La atención odontológica temprana es clave para la salud futura. |
| Tham y col. (2015) | Lactancia y caries | Metaanálisis | Relación entre lactancia prolongada y caries infantil. |
| Vadiakas (2008) | Etiología y factores de riesgo de ECC | Revisión | Define la caries temprana y sus factores de riesgo |
| Victoria y col. (2016) | Impacto de la lactancia en la salud a largo plazo | Revisión en The Lancet | La lactancia materna tiene beneficios a lo largo de la vida |

4. DISCUSIÓN

La lactancia materna durante los primeros meses de vida es ampliamente reconocida como la mejor forma de alimentación para los bebés, debido a sus numerosos beneficios nutricionales e inmunológicos. La Organización Mundial de la Salud y diversas investigaciones destacan sus ventajas, incluyendo la reducción de infecciones, el aumento del coeficiente intelectual, la protección contra enfermedades crónicas y beneficios económicos tanto para las familias como para los sistemas de salud (Organization, W. H. 2023). También entre algunas conclusiones de la nueva serie de The Lancet en el 2016 sobre la lactancia materna, menciona que “la



leche materna hace que el mundo sea más sano, más inteligente y tenga más igualdad". También habla de las ventajas de la leche materna, entre ellos el que los bebés con esta alimentación presentan menor número de infecciones, aumento de la inteligencia, protección contra el sobrepeso, diabetes y la prevención del cáncer para las madres, además de los beneficios económicos (Bowen & Lawrence, 2005).

Sin embargo, a pesar de la evidencia, la prevalencia de la lactancia materna ha disminuido en algunos países con ingresos altos, en contraste con las tasas más elevadas en países con bajos ingresos (Victora y col., 2016; Roberts y col., 2013).

En el contexto de la salud bucal, la enfermedad de caries dental se desarrolla cuando están presentes dientes erupcionados, bacterias cariogénicas y un sustrato fermentable como el azúcar (Selwitz y col., 2007). Por lo tanto, el riesgo que existe de que un bebé presente la enfermedad está relacionada con estas características más los factores de riesgo. Como el primer diente en erupcionar lo hace entre los seis meses y el año, el riesgo va aumentando conforme erupciones las demás piezas dentales; entonces se puede decir, que la edad y el número de dientes presentes en boca aumentan el riesgo de presentar lesiones cariosas (Vadiakas, 2008).

Como se ha mencionado, la leche materna entre sus componentes, contiene factores inmunomoduladores además de un microbioma el cual actúa en el establecimiento de una flora intestinal normal (Kerr y col., 2015), por este motivo la protección inicial contra la caries dental se puede mediar por la presencia de un microbioma bucal normal y saludable en los bebés obteniéndolo de la leche materna. Además, el microbioma bucal del niño cambia con el tiempo conforme van erupcionando los



dientes. Sin embargo, la relación entre la LM y la caries dental sigue siendo un tema de debate.

Al hablar de LM es necesario mencionar la relación de las ventajas que existen sobre el crecimiento craneofacial y sobre la salud bucal. En la literatura vienen ampliamente descritas estas ventajas, pero aún faltan estudios que muestren la relación entre ésta y el establecimiento de caries dental, que muestren en qué momento podría ser un factor de riesgo. Estudios epidemiológicos y revisiones sistemáticas han analizado la posible asociación entre la LM y la caries dental, uno de ellos es el realizado por Tham. (Tham y col., 2015) Concluyeron que la LM hasta los 12 meses de edad tiene un efecto protector contra la caries temprana de la infancia (CTI), pero la alimentación con LM después de los 12 meses podría aumentar el riesgo. Se ha planteado que este aumento en el riesgo podría estar relacionado con la mayor exposición nocturna a la leche materna, así como la introducción de alimentos y bebidas cariogénicas en la dieta (Feldens y col., 2010).

Examinar la cantidad de carbohidratos que contienen los diferentes tipos de leche y fórmulas explica de alguna manera los resultados que se dan antes y después de la alimentación a los 12 meses de edad. Cuando es por debajo de los 12 meses es más común alimentar a los bebés con leche materna o fórmula, que tienen aproximadamente el mismo contenido de carbohidratos, y después de los 12 meses, generalmente, los bebés son alimentados con leche de vaca, la cual tiene la mitad del contenido de carbohidratos de la leche humana. El contenido de carbohidratos en la leche materna, en comparación con la leche de vaca y las fórmulas infantiles, también podría ser un factor determinante en la cariogenicidad. Estudios en animales han sugerido que la leche materna, en exposiciones frecuentes, tiene



una cariogenicidad mayor que la leche de vaca, pero menor que la fórmula infantil. Sin embargo, la evidencia en humanos sigue siendo limitada y se requieren más estudios longitudinales controlados para esclarecer este aspecto (Bowen & Lawrence, 2005; Peres y col., 2009).

Otro estudio realizado por Cui en 2017 menciona que la alimentación con leche materna protege a los niños de CTI, donde la duración de este tipo de alimentación por más de 12 meses se relaciona con un mayor riesgo de CTI, concluyendo que se necesitan más estudios de cohorte para fortalecer la evidencia (Cui y col., 2007).

Moynihan encontró una asociación nula entre la LM prolongada y la caries, aunque se identificó variabilidad en los resultados cuando se compararon periodos de lactancia superiores a los 24 meses (Moynihan y col., 2019).

En 2019 se realizó un estudio con familias aborígenes en Australia del Sur para la intervención contra la caries dental en la primera infancia, en donde un tercio de los niños nunca recibieron LM, la mitad fueron alimentados con LM por menos de 12 meses y una quinta parte por más de 12 meses, relacionando la LM por más de 12 meses con el mayor riesgo de tener caries (Haag y col., 2019).

También es común que los bebés amamantados más de 12 meses sean alimentados por las noches, pero la modificación del riesgo de caries dental por las prácticas de alimentación infantil no se ha examinado en profundidad en ninguno de los estudios incluidos, además de que en su dieta por lo general agregan otros líquidos y sólidos. Se ha informado que los niños que son amamantados durante períodos más prolongados también tienen ingestas de



alimentos cariogénicos más frecuentes (Feldens y col., 2010).

Analizando la literatura se puede concluir que la leche materna siempre va a tener mayores beneficios; aquellos recién nacidos alimentados con leche materna por períodos más largos tienen menor morbilidad y mortalidad infecciosa, disminución en maloclusiones dentales y un coeficiente intelectual más alto comparado con aquellos que son amamantados por períodos más cortos o que no son amamantados. La lactancia materna hasta los 12 meses de edad no se relaciona con un mayor riesgo de caries, al contrario se puede decir que aporta más protección en comparación con la fórmula pero se tiene que tener el conocimiento que los bebés amamantados más de los 12 meses tienen un mayor riesgo de caries ya que es el período en el cual inicia la erupción de los dientes temporales y de que existen otros factores relacionados con la lactancia materna prolongada, como la alimentación nocturna, alimentos o bebidas cariogénicos en la dieta además de malos hábitos de higiene bucal.

El objetivo de este estudio es investigar asociaciones entre la LM y la salud bucal, estos resultados sugieren que la LM durante 12 meses o más se relaciona con el doble riesgo de caries. Tanto la duración como la exclusividad de la LM pueden ser relevantes, pero la evidencia del estudio actual es más sólida para la duración de la lactancia materna.

CONCLUSIONES

La lactancia materna es bien conocida y se sabe que es la forma

ideal de alimentación para los bebés por sus beneficios nutricionales, inmunológicos y psicológicos, además desempeña un papel protector contra infecciones bucales. La relación con la salud bucal y la caries dental ha sido un tema de debate. Alimentar al bebé con leche materna más allá del primer año de manera prolongada y en tomas frecuentes durante la noche se ha asociado con un aumento en el riesgo de caries dental en la primera infancia.

La leche materna es menos cariogénica que la fórmula infantil, pero también contiene lactosa, es por esto que si no existe una higiene bucal adecuada y buenos hábitos alimenticios, favorecerá la retención de leche en la cavidad oral aumentando la susceptibilidad de iniciar con procesos cariosos. Esto aumenta en aquellas situaciones donde la lactancia se da por las noches, cuando la reducción de la producción de saliva disminuye la capacidad de limpieza natural de la boca. Por esto es importante tomar en cuenta que el riesgo de caries no depende exclusivamente de la lactancia materna, sino de una combinación de factores, incluidos los hábitos alimenticios complementarios, la higiene bucal, la exposición al flúor y el acceso a servicios de salud dental. De esta manera se recomiendan medidas preventivas, como la higiene desde el 1er diente que erupcione, el uso de pastas dentales con flúor y la educación a los padres sobre hábitos alimenticios saludables. Todo esto puede disminuir el riesgo de caries dental, independientemente del método de alimentación infantil.

La LM debe administrarse de acuerdo con las recomendaciones de salud pública y acompañarse de medidas de higiene bucal adecuadas. Los odontólogos deben trabajar en estas medidas de prevención, pero también deben orientar y educar a los padres

sobre la importancia de la higiene temprana y la prevención de hábitos cariogénicos, promoviendo un equilibrio entre los beneficios de la lactancia materna y la protección de la salud dental infantil. Así se fomenta un enfoque integral que respalde tanto el desarrollo óptimo como la salud bucal de los niños en sus primeros años de vida.

En síntesis, la LM aporta beneficios significativos para la salud general y bucal de los niños, con evidencia que respalda su efecto protector contra la caries en los primeros 12 meses de vida. Sin embargo, la lactancia materna prolongada podría estar asociada con un mayor riesgo de caries, especialmente cuando se combina con otros factores como la alimentación nocturna frecuente, la introducción de alimentos cariogénicos y una higiene bucal deficiente. Se requiere investigación adicional para determinar con mayor precisión el impacto de la LM prolongada en la salud bucal y establecer recomendaciones basadas en evidencia para minimizar los riesgos asociados.

REFERENCIAS

- Abanto, J., Duarte, D., & Feres, M. (2020). *Primeros mil días del bebé y salud bucal* (N.-Q. Publishing (ed.); 1a. Edición).
- Ávila, W. M., Pordeus, I. A., Paiva, S. M., & Martins, C. C. (2015). Breast and Bottle Feeding as Risk Factors for Dental Caries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLoS ONE*, *10*(11), e0142922.
- Ballard, O., & Morrow, A. L. (2013). Human Milk Composition. *Pediatric Clinics of North America*, *60*(1): 49–74.
- Ballard, O., & Morrow, A. L. (2014). Human Milk Composition: Nutrients and

- Bioactive Factors. *Pediatric Clinics of North Am*, 60(1): 49–74.
- Berg, J. H., & Slayton, R. L. (2016). *Early Childhood Oral Health* (J. W. & S. Inc. (ed.); 2nd Editio).
- Bowen, W. H., & Lawrence, R. A. (2005). Comparison of the cariogenicity of cola, honey, cow milk, human milk, and sucrose. *Pediatrics*, 116(4): 921–926.
- Branger, B., CAmelot, F., Droz, D., Houbiers, B., Marchalot, A., Bruel, H., Laczny, E., & Clement, C. (2019). Breastfeeding and early childhood caries. Review of the literature, recommendations, and prevention. *Arch Pediatr*, 26(8): 497–503.
- Broumand, S., Sharififar, S., & Alikhani, S. (2006). The study of caries free indicator of milk teeth in children age 3-6 at dare care center affiliated to health centers of army. *Semantic Scholar*.
- Caroundaninidy, U., & Sathyanarayanan, R. (2009). Dental Caries. A complete changeover. *J Conserv Dent*, 12(2): 46–54.
- Castellote, C., Casillas, R., & Ramírez-Santana, C. (2011). Premature delivery influences the immunological composition of colostrum and transitional and mature human milk. *J Nutr*, 141(6): 1181–1187.
- Comité de Lactancia Materna de la AEP. (2015). *Lactancia materna y caries. Asociación Española de Pediatría*. <https://www.aeped.es/sites/default/files/documentos/02-lactancia-materna-caries.pdf>
- Congiu, G., Campus, G., & Luglie, P. F. (2014). Diet, nutrition and the prevention of dental diseases. *Oral Health Prev Dent*, 12(1): 71–76.
- Cui, L., Li, X., Tian, Y., Bao, J., Wang, L., Xu, D., Zhao, B., & Li, W. (2007). Breastfeeding and early childhood caries: A meta-analysis of observational studies. *J Clin Nutr*, (26): 867–880.
- De la Teja-Ángeles, E., Durán-Gutiérrez, L. A., & Zurita-Bautista, Y. E. (2011). Dientes natales y neonatales. *Acta Pediátrica de México*, 32(6): 351–352.
- Dentistry., A. A. of P. (2020). Policy on Early Childhood Caries (ECC): Classifications, Consequences, and Preventive Strategies. *American Academy of Pediatric Dentistry*: 79–81.
- Feldens, C. A., Giugliani, E. R. J., Vigo, A., & Vitolo, M. R. (2010). Earlyfeeding practices and severe early childhood caries in four-year-old children from southern Brazil: a birth cohort study. *Caries Res*, (44): 445–452.
- García-López, R. (2011). Composición e inmunología de la leche humana. *Acta*



*Pediatr*ica de México, 32(4): 223–230.

- García Blanco, L., Martín Calvo, N., Ciriza Barea, E., Ruiz Goikoetxea, M., Fernández Iglesia, V., & Barrandiaran Urretabizkaia, A. (2022). Lactancia materna y caries dental infantil ¿tiene alguna relación? *Rev Pediatr Aten Prim*, 23(90): 133–142.
- Haag, D. G., Jamieson, L. M., Hedges, J., & Smithers, L. G. (2019). "Is There an Association between Breastfeeding and Dental Caries among Three-Year-Old Australian Aboriginal Children?" *Nutrients*, 11(2): 1131.
- Kerr, C. A., Grice, D. M., Tran, C. D., Bauer, D. C., Li, D., Hendry, P., & Hannan, G. N. (2015). Early life events influence whole-of-life metabolic health via gut microflora and gut permeability. *Crit Rev Microbiol*, 41(3): 326–340.
- Machado, M. A., Silva, S. M. B., Abdo, R. C. C., Hoshi, A. T., Peter, E. A., Grazziotin, G. B., Honório, H. M., Prestes, M. P., Fracasso, M. A. C., Oliveira, T. M., & Silva, T. C. (2005). *Odontologia em bebês: protocolos clínicos, preventivos e restauradores* (Livraria S).
- MacHiulskiene, V., Campus, G., Carvalho, J., Dige, I., Ekstrand, K., Jablonski-Momeni, A., Maltz, M., Manton, D., Martignon, S., Martinez-Mier, E., Pitts, N., Schulte, A., Splieth, C., Tenuta, L., Ferreira Zandona, A., & Nyvad, B. (2020). Terminology of Dental Caries and Dental Caries Management: Consensus Report of a Workshop Organized by ORCA and Cariology Research Group of IADR. *Caries Research*, 54(1), 7–14. <https://doi.org/10.1159/000503309>
- Macías, S. M., Rodríguez, S., & Ronjayne de Ferrer, P. A. (2006). Leche materna: composición y factores condicionantes de la lactancia. *Arch Argent Pediatr*, 100(5): 423–430.
- Maldonado Ramírez, M. A., Torres Benítez, M., Issai Hernández, H., Padilla Corona, J., Chávez Pineda, A., Reyes Flores, R., & Oliver Parra, R. (2010). Lactancia materna: factor protector contra la caries dental. *Oral*, 11(33): 553–556.
- Monet Álvarez, D. E., Álvarez Cortés, J. T., & Gross Ochoa, V. Y. (2022). Beneficios inmunológicos de la lactancia materna. *Revista Cubana de Pediatría*, 94(3): e1915.
- Moynihan, P., & Petersen, E. P. (2004). Diet, nutrition and the prevention of dental diseases. *Public Health Nutrition*, 7(1A): 201–226.
- Moynihan, P., Tanner, L. M., Holmes, R. D., Hillier-Brown, F., Mashayekhi, A.,



CienciAcierta

- Kelly, S. A. M., & Craig, D. (2019). Systematic Review of Evidence Pertaining to Factors That Modify Risk of Early Childhood Caries. *JDR Clin Transl Res*, (4): 202–216.
- Munblit, D., Peroni, D., Boix-Amorós, A., Hsu, P., Land, B., Gay, M., & Warner, J. (2011). Human Milk and Allergic Diseases: An Unsolved Puzzle. *Nutrients*, 32(4): 223–230.
- Onyango, S., Kimani-Murage, E., Kitsao-Wekulo, P., Langat, N., Okelo, K., Obong'o, C., Utzinger, J., & Fink, G. (2022). Associations between exclusive breastfeeding duration and children's developmental outcomes: Evidence from Siaya county, Kenya. *PLoS One*, 17(3), e0265366.
- Onyeaso, C. O., & Isiekwe, M. C. (2008). Occlusal changes from primary to mixed dentitions in Nigerian children. *Angle Orthod*, 78: 64–69.
- Organization, W. H. (2023). *Infant and young child feeding*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/infant-and-young-child-feeding>
- Pang, W. W., & Hartmann, P. E. (2007). Initiation of human lactation: secretory differentiation and secretory activation. *J Mammary Gland Biol Neoplasia*, 12(4): 211–221.
- Peres, K. G., Cascaes, A. M., Nascimento, G. G., & Victoria, C. G. (2015a). Effect of breastfeeding on malocclusions: a systematic review and meta-analysis. *Acta Paediatr Suppl*, 104: 54–61.
- Peres, K. G., Peres, M. A., Thomson, W. M., Broadbent, J., Hallal, P. C., & Menezes, A. B. (2015b). Deciduous-dentition malocclusion predicts orthodontic treatment needs later: findings from a population-based birth cohort study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*, 147: 492–498.
- Peres, R. C., Coppi, L. C., Volpato, M. C., Groppo, F. C., Cury, J. A., & Rosalen, P. L. (2009). Cariogenic potential of cows', human and infant formula milks and effect of fluoride supplementation. *Br J Nutr*, 101: 376–382.
- Roberts, T. J., Carnahan, E., & Gakidou, E. (2013). Can breastfeeding promote child health equity? A comprehensive analysis of breastfeeding patterns across the developing world and what we can learn from them. *BMC Med*, 11: 254.
- Rojas Espinosa, R., & Arce Paredes, P. (2004). Fagocitosis: mecanismos y consecuencias. *Bioquímica*, 29(1): 18–31.



- Salud, O. M. de la. (2003). *Estrategia Mundial para la Alimentación del Lactante y del Niño Pequeño* (p. 30). <https://iris.who.int/handle/10665/42695>
- Selwitz, R. H., Ismail, A. I., & Pitts, N. B. (2007). Dental caries. *The Lancet*, 369(9555): 51–59.
- Sihuay-Torres, K., Luna-Mazzola, I., Lara-Verastegui, R., & Rivera Félix, L. M. (2023). Prácticas de salud bucal durante los primeros 1000 días de vida: Revisión de la literatura. *Rev. Fac. Med. Hum.*, 23(3): 148–155.
- Tham, R., Bowatte, G., Dharmage, S. C., Tan, D. J., Lau, M. X. Z., Dai, X., Allen, K. J., & Lodge, C. J. (2015). Breastfeeding and the risk of dental caries: a systematic review and meta-analysis. *Acta Paediatr*, 104(467): 62–84.
- Vadiakas, G. (2008). Case definition, aetiology and risk assessment of early childhood caries (ECC): a revisited review. *Eur Arch Paediatric Dent*, 9: 114–125.
- Victora, C. G., Bahl, R., Barros, A. J. D., Franca, G. V. A., Horton, S., Krasevec, J., Murch, S., Sankar, M. J., Walker, N., & Rollins, N. C. (2016). Breastfeeding in the 21st century: epidemiology, mechanisms, and lifelong effect. *Lancet*, 387(10017): 475–490.

APLICACIONES INNOVADORAS DE NANOPARTÍCULAS BIOSINTETIZADAS: AVANCES Y PERSPECTIVAS

*INNOVATIVE APPLICATIONS OF BIOSYNTHESIZED
NANOPARTICLES: ADVANCES AND PERSPECTIVES*

CARLOS A. GARCÍA MARTÍNEZ¹

VÍCTOR M. OVANDO
MEDINA²

LORENA FARIÁS CEPEDA¹

LUCERO ROSALES MARINES¹

ANTONIA MARTÍNEZ
LUÉVANOS¹

RESUMEN

Las nanopartículas tienen una amplia variedad de aplicaciones en el sector industrial y de la investigación. Han sido estudiadas en los últimos tiempos y se han posicionado como una alternativa eficiente para la generación de productos con mayor durabilidad y resistencia gracias a sus múltiples funcionalidades y propiedades. La obtención de nanopartículas es posible por tres métodos de síntesis: físicos, químicos y biológicos. Los primeros dos son los más utilizados y evaluados por poseer una mayor variedad de condiciones para su síntesis; sin embargo, requieren un alto uso energético y/o un elevado número de reactivos y generan un mayor volumen de desechos o carga de contaminantes al ambiente. La biosíntesis o síntesis biológica por su parte, es considerada como una buena alternativa para la producción de nanopartículas, al ser mucho más eficiente en cuanto a costos y producción, además de generar nanopartículas con mayor biocompatibilidad y propiedades más efectivas para aplicaciones clínicas, médicas, ambientales y en alimentos.

Palabras clave: nanopartículas; síntesis; biosíntesis; biocompatibilidad.

1. Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

2. Unidad Académica
Multidisciplinaria Región
Altiplano, Universidad
Autónoma de San Luis
Potosí

Correspondencia
c-
garciamartinez@uadec.edu.mx



CienciAcierta

ABSTRACT

Nanoparticles are materials that have a wide range of applications in the industrial and research sectors. They have been recently studied and have positioned themselves as an efficient alternative for generating products with greater durability and resistance, due to their multiple functionalities and properties. The production of nanoparticles can be achieved through three synthesis methods: physical, chemical, and biological. The first two of these are the most used and evaluated, as they offer a greater variety of alternatives for nanoparticle synthesis. However, it has been found that they require high energy consumption or a significant number of reagents, leading to a larger volume of waste or environmental contaminants. Biosynthesis, or biological synthesis, on the other hand, is considered a good alternative for producing nanoparticles, as it is much more cost-effective and efficient in terms of production, while also generating nanoparticles with greater biocompatibility and more effective properties for clinical, medical, environmental, and food applications.

Keywords: *nanoparticles; synthesis; biosynthesis; biocompatibility.*

Fecha de recepción
15 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
10 de febrero de 2025.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de nuevas tecnologías ha permitido un gran avance académico, médico, industrial y ambiental, permitiendo resolver problemáticas específicas a las que se enfrentan cada una de estas

áreas. Una de las mayores preocupaciones de hoy en día es la contaminación ambiental a nivel mundial, provocada tanto por actividades cotidianas como industriales que generan grandes cantidades de agentes contaminantes en el entorno, el agua, el suelo y el aire, elementos de suma importancia para la vida y la salud. Atendiendo esta situación, la generación de nuevos materiales ha permitido otra perspectiva de los métodos de tratamiento o remoción de contaminantes generados por las actividades antropogénicas.

Hoy en día, los nanomateriales son considerados uno de los avances tecnológicos más eficientes ya que tienen aplicaciones en distintas áreas, porque presentan propiedades fisicoquímicas diferentes a las que tienen esos mismos materiales, pero a escalas mayores. Las nanopartículas son una clase particular de nanomateriales con aplicaciones en diversos campos como la electrónica, catálisis, tratamiento de aguas residuales o medios contaminados, inhibidores de la corrosión en metales, entre muchas otras (El-Seedi y col., 2019).

Las síntesis de nanopartículas, como su nombre lo indica, es la obtención de partículas a escala nanométrica en su mayoría metálicas como Au, Ag, Cu, Zn, Fe, Se. Sin embargo, se han registrado investigaciones en las que se encuentran otros elementos, por ejemplo, Ovando-Medina y col. (2023) reportaron el uso de un material fotocatalítico (ZnO) dopado de nanopartículas de praseodimio (Pr) para la fotodegradación de agua contaminada con azul de metileno (colorante de uso textil), con las cuales lograron una disminución de hasta el 97% de las concentraciones iniciales del agente contaminante en tiempos relativamente cortos.

Existen tres métodos principales para la síntesis de nanopartículas



y nanomateriales, la síntesis química, física y biológica. La biosíntesis es un método que no requiere de consumo energético y/o generación de residuos durante el proceso, contaminantes que en la mayoría de las ocasiones terminan en el medio ambiente. La síntesis verde de nanopartículas utiliza una variedad de especies naturales como bacterias, microorganismos, plantas y extractos de plantas, entre otras más (Salem, 2023).

La síntesis biológica de nanopartículas permite la generación de partículas a escala nanométrica con distintas morfologías estructurales, donde las condiciones de síntesis a tomar en cuenta son el pH, tiempo, temperatura, sustrato, material para la generación de las nanopartículas, enzimas y biomasa utilizada (Salem, 2023). La aplicación de estos materiales en el área ambiental contribuye significativamente a la mejora en tecnologías para la remoción o degradación de contaminantes en agua, suelo e inclusive aire, desde la generación de hidrogeles para la adsorción, materiales fotocatalíticos para la degradación de contaminantes o membranas para la filtración de estos (Policarpo y col., 2023).

El objetivo de esta revisión bibliográfica es divulgar el método de biosíntesis como una alternativa eficiente para la obtención de nanopartículas, así como sus aplicaciones.

NANOMATERIALES

El término nanotecnología se empezó a utilizar entre 1974 y 1986 por los investigadores Norio Taniguchi y Erick Drexler para describir materiales a nanoescala y sus aplicaciones (Chávez-Hernández y col., 2024), generaría interés para sintetizar materiales mucho más funcionales, con características y



propiedades mejoradas para aplicaciones novedosas. Su introducción en las industrias de materiales, alimentos e inclusive de la farmacéutica ha generado una nueva revolución de métodos de producción direccionados a un producto de mayor potencial y hasta innovador, estructurados de manera controlada a pequeñas escalas desde su síntesis.

La explotación inadecuada de los recursos naturales para la satisfacción de las necesidades de los seres humanos ha sido uno de los impulsos para la generación de nuevos materiales, con mayor durabilidad y eficiencia, enfoque del que surgieron la síntesis y aplicaciones de los nanomateriales.

Actualmente, los nanomateriales se pueden encontrar en muchos de los productos que consumimos. Al ser materiales con una amplia variedad de aplicaciones, su relevancia económica ha provocado que desde hace aproximadamente veinte años se registren usos y patentes en nuevas áreas de la industria de alimentos, de la tecnología, medicina, cosmética, etc. (Chávez-Hernández y col., 2024). Productos como celdas fotovoltaicas, cosméticos mejorados, dentífricos, nuevos fármacos, dispositivos electrónicos, tratamientos de enfermedades y remediación de contaminantes son algunas de las aplicaciones que se les han dado a los nanomateriales en las áreas de la industria e investigación.

MÉTODOS DE SÍNTESIS PARA NANOPARTÍCULAS

La síntesis de nanomateriales se divide principalmente en dos enfoques, el enfoque de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba, también conocidos como enfoques *top-down* y *bottom-up*. El primero parte de grandes cantidades de material o a granel, en donde por métodos físicos o mecánicos se producen materiales de menor escala, mientras que los enfoques *bottom-up* hacen referencia a los métodos químicos de síntesis en los que se parte de la unión de átomos o moléculas hasta lograr el tamaño de escala adecuado. (Baig y col., 2021). Estos enfoques se muestran en la Figura 1.

Figura 1. Enfoques principales para la síntesis de nanomateriales.

Entre los nanomateriales más utilizados e investigados están las nanopartículas, definidas usualmente como partículas con rangos de diámetro de entre 1-100 nm. La síntesis de nanopartículas está dividida en tres principales métodos: físicos, químicos y biológicos (El-Seedi y col., 2019), tal como se muestra en la Figura 2.

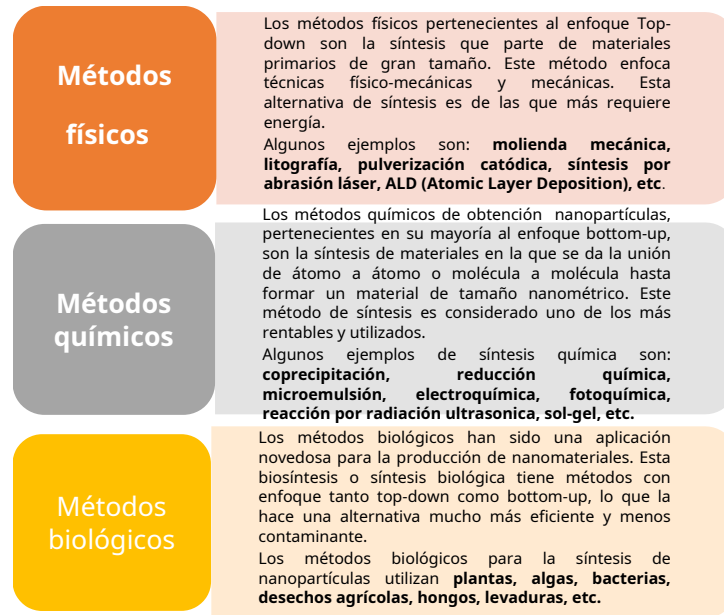


Figura 2. Métodos generales para la síntesis de nanopartículas y algunos nanomateriales (Geldasa y col., 2023; Policarpo y col., 2023).

BIOSÍNTESIS DE NANOPARTÍCULAS

La biosíntesis o método biológico es actualmente una alternativa novedosa de síntesis de nanopartículas que toma como fundamento la nanotecnología verde. A diferencia de los métodos físicos y químicos, no requiere grandes cantidades de energía ni genera una alta cantidad de residuos, por lo que es considerado el método más viable para la síntesis de estos materiales, al ser más sostenible, rentable y menos contaminante.

Esta alternativa de síntesis cita algunos de los principios de la química verde al utilizar fuentes biológicas o naturales e incorporarlas para la fabricación a gran escala teniendo un menor

riesgo a la salud y un mayor potencial en el cuidado ambiental, así como obtener productos menos tóxicos y un bajo uso de energía durante la producción. El uso de nanopartículas obtenidas mediante biosíntesis ha mostrado resultados efectivos para estudios de remediación de suelos, agua contaminada, actividad antibacteriana eficaz contra cepas, patógenos en la salud, en sector alimenticio y agroalimentario (Larrañaga-Tapia y col., 2024). Como se ha mencionado, existen distintos métodos biosíntesis de nanopartículas, Mageswari y col. (2015), reportaron la síntesis de nanopartículas de plata con bacterias *Pseudomonas mandelli*, *Pseudomonas jessenii* y *Pseudomonas gessardii*, que tuvieron la capacidad de generar nanopartículas con tamaños de entre 4.4 nm hasta 11.7 nm, siendo este un método rentable al no requerir demasiada energía, pues las condiciones de síntesis para las bacterias fue de entre 5-30°C siendo el sustrato nitrato de plata (AgNO_3) a distintas concentraciones. En la tabla 1 se mencionan las principales ventajas y desventajas de la biosíntesis de nanopartículas.

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la biosíntesis de nanopartículas.

| Biosíntesis de nanopartículas | |
|---|---|
| Ventajas | Desventajas |
| <ul style="list-style-type: none"> • Obtención de nanopartículas sin la alta generación de contaminantes. • Obtención de nanopartículas con mejor morfología y propiedades. • Obtención de nanopartículas con mayor biocompatibilidad para aplicaciones médicas y salud. • Bajo uso de sustancias químicas durante la síntesis. | <ul style="list-style-type: none"> • La síntesis depende de condiciones específicas (pH, temperatura, sustrato, entre otros). • Síntesis de tiempos prolongados. • Demanda de productos naturales. • Algunos métodos requieren de energía natural. • Limitación en cuanto a grandes volúmenes de producción. |



- Baja demanda de consumo energético.
- Uso de materias primas renovables.
- Amplia aplicación para materiales tecnológicos y ambientales.

Método más sustentable, sostenible y rentable.

APLICACIONES DE NANOPARTÍCULAS SINTETIZADAS DE MANERA BIOLÓGICA

Las nanopartículas sintetizadas de manera biológica poseen, de acuerdo con diversos estudios, propiedades químicas mejoradas, así como estructuras variadas de acuerdo con el método y espécimen biológico utilizado. En diversas evaluaciones e investigaciones algunas especies biológicas han permitido la producción de nanopartículas de Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Pt, Au y Ag a partir de sales y óxidos metálicos utilizando plantas, hongos, microorganismos y algas principalmente (Meena y col., 2024). Durante dicho proceso de síntesis las biomoléculas liberadas por el metabolismo del organismo como enzimas, polisacáridos y carbohidratos permiten la oxidación y/o reducción de los iones metálicos presentes en el sustrato (Salem, 2023).

Las nanopartículas obtenidas por biosíntesis pueden utilizarse en numerosas áreas de la medicina y los alimentos, áreas de la investigación en las que más abundan las aplicaciones de estos materiales. Un ejemplo de dichas aplicaciones en el área médica es la descrita por Sakore y col. (2023); ellos sintetizaron nanopartículas de Au a partir de extractos de plantas con soluciones de sales de este metal y las emplearon para el



CienciAcierta

tratamiento y diagnóstico de cáncer en humanos, Figura 3. Sakore y col. mencionan que la biosíntesis de nanopartículas de Au generó una mejor biocompatibilidad y estabilidad de estas, eficaces para su aplicación durante las terapias y administraciones de medicamentos en los pacientes.

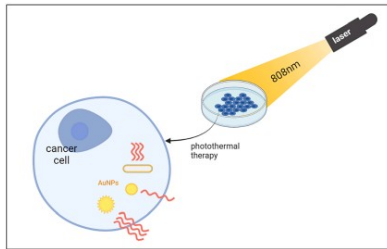


Figura 3. Aplicación de nanopartículas de Au para tratamiento LSPR en pacientes con cáncer (Sakore y col., 2023).

Otra de las aplicaciones que se les ha dado a las nanopartículas obtenidas por biosíntesis, al igual que diversos nanomateriales, es la innovación en materiales o productos, en este sentido Santos y col. (2021) modificaron la superficie de productos textiles con la adición de nanopartículas de Ag sintetizadas de los extractos de *Beta Vulgaris* en distintas proporciones, para desarrollar productos con mayor resistencia e inhibición a microorganismos patógenos que toman el calor y la humedad de prendas usadas para su proliferación. Este tipo de aplicaciones son importantes para pacientes con defensas inmunitarias bajas o personas con problemas en la piel, siendo un avance para la generación de textiles inteligentes. Santos y col. complementan que los métodos de biosíntesis de nanopartículas son rutas efectivas para obtener estos materiales con baja toxicidad.

Las nanopartículas obtenidas por biosíntesis también tienen aplicaciones en el área de la tecnología, Davarnia y col. (2020) desarrollaron un sensor para la detección de quercetina, componente natural producido en granos, frutas y verduras; a

partir de un electrodo de carbono modificado con nanopartículas de plata obtenidas a partir de extractos de *Peganum harmala*, aceite de parafina y n-hexyl-3-methylimidazolium hexafluoro fosfato (MIHP). Davarnia y col. determinaron que además de ser un material antibacteriano eficiente para *Streptococcus sp*, el electrodo modificado con las nanopartículas de plata desarrollo una eficiente actividad catalítica para la identificación de quercetina a rango de concentraciones de 0.01 a 550 μM .

APLICACIÓN DE NANOPARTÍCULAS PARA REMOCIÓN DE AGENTES CONTAMINANTES

Las condiciones actuales a las que se enfrenta el medio ambiente son, en su mayoría, consecuencia de la actividad humana descontrolada, la alta demanda de productos de fabricación industrial y la desmedida emisión de agentes contaminantes al medio ambiente. Tales condiciones han generado nuevas estrategias para la recuperación de los entornos afectados. El desarrollo de nuevas tecnologías de remediación ha sido un avance fundamental para dar solución a estas problemáticas; dichas tecnologías se dividen en tres tipos de remediación: físicas, químicas y biológicas, algunas de gran inversión económica y alto requerimiento energético: las tecnologías físicas y químicas (Sun y col., 2023).

El aumento de las diferentes aplicaciones de las nanopartículas en los últimos años ha permitido el mejoramiento de las tecnologías de remediación anteriormente mencionadas e inclusive la



generación de algunas nuevas. Las nanopartículas sintetizadas a partir de desechos de la agricultura, plantas, extractos de plantas, microorganismos, bacterias, hongos y demás, han sido aplicadas para el tratamiento de aguas y efluentes, y algunas de estas aplicaciones pueden ser conjugadas con compuestos bioactivos que pueden permitir la unión con diferentes tipos de nanopartículas (Policarpo y col., 2023). Un ejemplo de esto es el ZnO dopado con nanopartículas de algún metal, utilizado para la remediación por fotocatalisis, el cual se activa con luz ultravioleta, luz visible o radiación infrarroja (Rathod y col., 2024) para la degradación de contaminantes. La aplicación de nanopartículas se ve fuertemente ligada a la remediación de casi todo tipo de contaminantes desde metales pesados, fármacos, colorantes, aceites, entre muchos más. Las nanopartículas aplicadas con técnicas como la filtración y la adsorción para la remoción de este tipo de contaminantes han generado resultados mucho más eficientes. Una aplicación novedosa de estos materiales además de la remediación para contaminantes, podría ser el uso de TiO_2 adicionado a suelos con baja cantidad de nutrientes, útil para su regeneración dando condiciones eficientes y biocompatibles para el cultivo de algunas plantas o cosechas (Roy y col., 2024).

Estudios como el realizado por López-Miranda y col. (2023) en el que con nanopartículas de Ag y Au sintetizadas a partir del extracto de *Sargassum*, aplicadas para la degradación de contaminantes, diferenciaron las propiedades fotocatalíticas para cada uno de estos metales, removiendo tintes orgánicos en aguas en los que obtuvieron entre 70 y 80 % de degradación con partículas de Ag, mientras que con las nanopartículas de Au se obtuvieron entre el 80 y el 96 % de degradación para dichos tintes, siendo para ambas nanopartículas una cantidad considerable. Al



igual que en esta investigación existen aplicaciones de materiales con nanopartículas que han removido o degradado contaminantes de alto impacto como metales pesados, grasas, aceites, colorantes e inclusive material inorgánico (Shahnaz y col., 2024; Khoiriah & Putri, 2024; Kashyap y col., 2023). Las tecnologías de remediación con nanopartículas sintetizadas de manera biológica podrían generar una alternativa mucho más innovadora, eficiente y sustentable para la solución de problemas de contaminación.

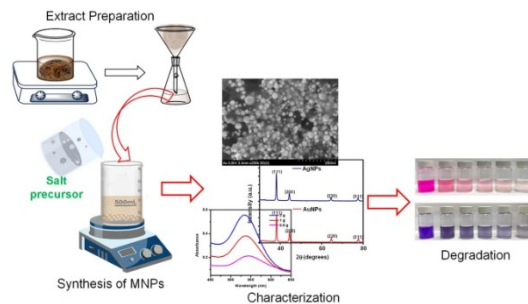


Figura 4. Obtención de nanopartículas de Ag y Au a partir del extracto de *Sargassum* para degradación de colorantes (López-Miranda y col., 2023).

CONCLUSIONES

La biosíntesis de nanopartículas es un método altamente eficiente y una alternativa viable para su aplicación en diversos sectores industriales y de investigación. Este enfoque de síntesis es menos nocivo para el medio ambiente, promueve la sustentabilidad y el equilibrio, y presenta una inversión de bajo costo. Además, las nanopartículas generadas por biosíntesis no solo son innovadoras

por su forma de obtención, sino que también han tenido un alto impacto gracias a su baja demanda energética durante la síntesis y sus propiedades mejoradas, como su baja o nula toxicidad. Estas características amplían sus aplicaciones en áreas como la medicina y los alimentos. Asimismo, el uso de estas nanopartículas en nuevas tecnologías de remediación ambiental ha demostrado resultados positivos tanto en su síntesis como en su capacidad para solucionar problemas medioambientales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila por el acceso a la información para llevar a cabo esta revisión y al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías por el apoyo con la beca número 2061709.

REFERENCIAS

- Baig, N., Kammakakam, I., & Falath, W. (2021). Nanomaterials: a review of synthesis methods, properties, recent progress, and challenges. *Materials Advances*, 2(6): 1821-1871. <https://doi.org/10.1039/d0ma00807a>.
- Chávez-Hernández, J. A., Velarde-Salcedo, A. J., Navarro-Tovar, G., & Gonzalez, C. (2024). Safe nanomaterials: from their use, application and disposal to regulations. *Nanoscale Advances*. <https://doi.org/10.1039/d3na01097j>.
- Davarnia, B., Shahidi, S., Karimi-Maleh, H., Ghorbani-HasanSaraei, A., & Karimi,

F. (2020). Biosynthesis of Ag Nanoparticle by Peganum Harmala Extract; Antimicrobial Activity and Ability for Fabrication of Quercetin Food Electrochemical Sensor. *International Journal of Electrochemical Science*, 15(3): 2549-2560. <https://doi.org/10.20964/2020.03.70>.

El-Seedi, H. R., El-Shabasy, R. M., Khalifa, S. A. M., Saeed, A., Shah, A., Shah, R., Iftikhar, F. J., Abdel-Daim, M. M., Omri, A., Hajrahand, N. H., Sabir, J. S. M., Zou, X., Halabi, M. F., Sarhan, W., & Guo, W. (2019). Metal nanoparticles fabricated by green chemistry using natural extracts: biosynthesis, mechanisms, and applications. *RSC Advances*, 9(42): 24539-24559. <https://doi.org/10.1039/c9ra02225b>.

Geldasa, F. T., Kebede, M. A., Shura, M. W., & Hone, F. G. (2023). Experimental and computational study of metal oxide nanoparticles for the photocatalytic degradation of organic pollutants: a review. *RSC Advances*, 13(27): 18404-18442. <https://doi.org/10.1039/d3ra01505j>.

Policarpo T. Fernanda Maria, Arpita Roy, H C Ananda Murthy (2023). Green Nanoremediation. En *Springer eBooks*. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-30558-0>.

Larrañaga-Tapia, M., Betancourt-Tovar, B., Videa, M., Antunes-Ricardo, M., & Cholula-Díaz, J. L. (2023). Green synthesis trends and potential applications of bimetallic nanoparticles towards the sustainable development goals 2030. *Nanoscale Advances*, 6(1): 51-71. <https://doi.org/10.1039/d3na00761h>.

Khoiriah, K., & Putri, R. A. (2024). Biosynthesis of titanium dioxide nanoparticles using peel extract of *Parkia speciosa* for methyl orange degradation. *South African Journal of Botany*, 170: 120-129. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.05.021>

Kashyap, P., Shirkot, P., Das, R., Pandey, H., & Singh, D. (2023). Biosynthesis and characterization of copper nanoparticles from *Stenotrophomonas maltophilia* and its effect on plant pathogens and pesticide degradation. *Journal of Agriculture and Food Research*, 13: 100654. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2023.100654>

López-Miranda, J. L., Mares-Briones, F., Silva, R., Esparza, R., & Estevez, M. (2023).



CienciAcierta

Green synthesis and characterization of metallic nanoparticles with environmental applications. *MRS Advances*, 8(20): 1172-1176. <https://doi.org/10.1557/s43580-023-00697-w>

Meena, J., Sivasubramaniam, S. S., David, E., & K, S. (2024). Green Supercapacitor: Review and Perspectives of Sustainable Template-Free Synthesis of Metal and Metal Oxide Nanoparticle. *RSC Sustainability*. <https://doi.org/10.1039/d4su00009a>

Mageswari, A., Subramanian, P., Ravindran, V., Yesodharan, S., Bagavan, A., Rahuman, A. A., Karthikeyan, S., & Gothandam, K. M. (2014). Synthesis and larvicidal activity of low-temperature stable silver nanoparticles from psychrotolerant *Pseudomonas mandelii*. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(7): 5383-5394. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3735-5>

Ovando-Medina, V. M., Villabona-Leal, E. G., Antonio-Carmona, I. D., Martínez-Gutiérrez, H., Romero-Galarza, A., Dector, A., Mendoza-León, H. F., & Olivares-Ramírez, J. M. (2023). Synthesis of ZnO/ PrO₂ + Pr(OH)₃ nanoparticles for solar photodegradation of anionic and cationic mixed dyes. *Journal of Materials Science Materials in Electronics*, 34(12). <https://doi.org/10.1007/s10854-023-10424-8>

Rathod, S., Preetam, S., Pandey, C., & Bera, S. P. (2024). Exploring synthesis and applications of green nanoparticles and the role of nanotechnology in wastewater treatment. *Biotechnology Reports*, 41: e00830. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2024.e00830>

Roy, D., Yadav, A. K., & Goutam, S. P. (2025b). Green synthesized TiO₂ nanoparticles as a stimulator for aquaculture growth of *Oryza sativa* L. *Next Sustainability*, 5: 100073. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2024.100073>

Sakore, P., Bhattacharya, S., Belemkar, S., Prajapati, B. G., & Elossaily, G. M. (2023). The theranostic potential of green nanotechnology-enabled gold nanoparticles in cancer: A paradigm shift on diagnosis and treatment approaches. *Results in Chemistry*, 7: 101264. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2023.101264>



- Salem, S. S. (2023). A mini review on green nanotechnology and its development in biological effects. *Archives of Microbiology*, 205(4). <https://doi.org/10.1007/s00203-023-03467-2>
- Santos, O. A. L. D., De Araujo, I., Da Silva, F. D., Sales, M. N., Christoffolete, M. A., & Backx, B. P. (2021). Surface modification of textiles by green nanotechnology against pathogenic microorganisms. *Current Research in Green and Sustainable Chemistry*, 4: 100206. <https://doi.org/10.1016/j.crgsc.2021.100206>
- Shahnaz, N., Rasool, A., & Parveen, W. (2024). Catalytic degradation of aromatic dyes using triazolidine-thione stabilized Nickel nanoparticles. *Heliyon*, 2024: e40623. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40623>
- Sun, J., Wang, F., Jia, X., Wang, X., Xiao, X., & Dong, H. (2023). Research progress of bio-slurry remediation technology for organic contaminated soil. *RSC Advances*, 13(15): 9903-9917. <https://doi.org/10.1039/d2ra06106f>

ORIGEN DEL GRUPO D_4 EN EL ORBIFOLD Z_2 : UNA PUERTA PARA CONOCER LA IMPORTANCIA DE LOS GRUPOS Y ORBIFOLDS EN LA FÍSICA

*ORIGIN OF THE DIHEDRAL GROUP D_4 IN THE Z_2 ORBIFOLD: A
DOOR TO KNOW THE IMPORTANCE OF GROUPS AND ORBIFOLDS
IN PHYSICS*

RICARDO PÉREZ MARTÍNEZ

RESUMEN

Los grupos discretos y los orbifolds son estructuras matemáticas que desempeñan un papel clave en la teoría de cuerdas y su conexión con la física de partículas, proporcionando una base geométrica y algebraica para comprender simetrías y aspectos fundamentales de las teorías físicas. En este trabajo analizamos el origen del grupo diedral D_4 en un contexto de compactificación de cuerdas en orbifolds, destacando su relevancia en la descripción de la jeraquía de masas y en la construcción de modelos de sabor en física de partículas.

Palabras clave: grupos; orbifolds; cuerdas; compactificación; física de partículas.

Facultad de Ciencias Físico
Matemáticas, Unidad
Sureste, UAdeC.

Correspondencia
ricardo.perezmartinez@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-2923-4970>

ABSTRACT



Discrete groups and orbifolds are mathematical structures that play a key role in string theory and its connection with particle physics, providing a geometric and algebraic basis for understanding symmetries and fundamental aspects of physical theories. In this work, we analyze the origin of the D_4 dihedral group in the context of orbifold compactification of strings, highlighting its relevance for describing the mass hierarchy and for constructing flavor models in particle physics.

Fecha de recepción
13 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
15 de enero de 2025.

Keywords: groups; orbifolds; strings; compactification; particle physics.

1. INTRODUCCIÓN

Los grupos son estructuras algebraicas que nos ayudan a estudiar y describir las simetrías de un objeto o un sistema físico, así como a entender sus implicaciones. Es usualmente conocido que las transformaciones de simetría (rotaciones y reflexiones) de un polígono regular forman el llamado grupo diedral o grupo diédrico. Un caso particular es el grupo diedral D_4 , el cual se obtiene por las transformaciones de simetría del cuadrado (Ramond, 2010).

Los grupos tienen aplicaciones importantes en la física de partículas. En este campo existe un modelo llamado el Modelo Estándar (ME), el cual describe las partículas elementales y sus interacciones. El ME está formado por fermiones (leptones y cuarks), el bosón de Higgs y bosones de norma, los cuales son los mediadores de las interacciones fundamentales. Los fermiones están agrupados en tres generaciones o familias, por ejemplo, para los leptones la primera generación está formada por el electrón y el neutrino del electrón, mientras que el cuark top y el cuark down forman la primera generación de cuarks. En el sector



CienciAcierta

de Yukawa del ME se presentan las interacciones entre los fermiones con el campo de Higgs. Mediante el rompimiento espontáneo de la simetría, o mecanismo de Higgs, los fermiones adquieren masas, las cuales dependen del valor de expectación en el vacío del Higgs y de parámetros libres como los acoplamientos de Yukawa (Langacker, 2017). Tales parámetros se ajustan a las observaciones experimentales, las cuales indican un patrón de jerarquía entre las masas de los fermiones. Por ejemplo, los fermiones de la tercera generación son más pesados que los de la primera. Esto un aspecto que el ME no explica, es decir, por qué los fermiones tienen tales valores de masa. Esto forma parte de un problema en física más allá del ME llamado el problema del sabor (Langacker, 2017; Zupan, 2019). Una de las propuestas para explicar este problema es considerar grupos discretos no Abelianos como el grupo diedral D_4 , el grupo de permutaciones S_3 , entre otros (Ishimori y col., 2010; Hernández y col., 2022; Miskaoui, 2024). A los grupos utilizados en este contexto se les suele llamar grupos de sabor, donde la palabra sabor se refiere a los distintos tipos o sabores de fermiones del ME.

El origen de algunos de estos grupos puede presentarse en las propiedades geométricas y algebraicas de los orbifolds usados en las compactificaciones de cuerdas (Kobayashi y col., 2007; Nilles y col., 2012; Ramos-Sánchez y Vaudrevange, 2019). Una teoría de cuerdas como la cuerda heterótica está definida en diez dimensiones (Gross y col., 1985). Para hacer contacto con nuestro mundo en cuatro dimensiones es necesario compactificar seis dimensiones en un orbifold (Dixon y col., 1985). La geometría del orbifold determina las propiedades de los modelos en cuatro dimensiones que provienen de las compactificaciones de cuerdas (Ramos-Sánchez, 2009) y también ofrecen un origen a grupos de



sabor (Olguín-Trejo y col., 2018). Además de los orbifolds, existen otros espacios para efectuar la compactificación de cuerdas, por ejemplo, toros y espacios de Calabi-Yau. Los primeros no reproducen la propiedad de quiralidad de los fermiones del ME, mientras que los segundos son más complejos matemáticamente (Ramos-Sánchez, 2009). Los orbifolds, por otra parte, si reproducen la quiralidad de los fermiones y son geoméricamente más simples. Por estas razones nos enfocamos a los orbifolds.

El grupo diedral D_4 es especial en el contexto de los orbifolds y los grupos por las siguientes razones. La primera es que este grupo es usualmente obtenido por las simetrías del cuadrado (Ramond, 2010), la segunda es que ha sido aplicado para explorar el problema del sabor en la física de partículas (Ishimori y col., 2008; Hernández y col., 2022; Srivastava y col., 2022), y la tercera es que puede originarse en un orbifold con una geometría accesible de visualizar (Kobayashi y col., 2007), ilustrando así, un origen distinto al usual para este grupo. Por estas razones nos enfocamos al grupo D_4 en este artículo con los objetivos siguientes. Primero, mostrar que el grupo diedral D_4 puede originarse en el orbifold Z_2 unidimensional (Kobayashi y col., 2007). Segundo, dar a conocer la importancia de los orbifolds y los grupos en el contexto de las compactificaciones de cuerdas y la física de partículas, en particular en el problema del sabor.

El contenido del presente artículo es el siguiente. En la sección 2 se presentan algunas definiciones y propiedades de los grupos, además de mostrar el grupo diedral D_4 . En la sección 3 hablamos de los orbifolds y las herramientas para obtener el grupo de sabor asociado a un orbifold. En la sección 4 mostramos cómo surge el grupo diedral D_4 en el orbifold Z_2 unidimensional. En la sección 5 comentamos sobre la importancia de los orbifolds y los grupos en



las compactificaciones de cuerdas y en la física de partículas. Finalmente, en la sección 5 presentamos las conclusiones.

2. GRUPOS

Un grupo es un conjunto de elementos $G = \{g_0, g_1, g_2, \dots\}$, donde una operación producto, denotada por \circ , está definida entre sus elementos y tal que se cumplen las siguientes propiedades:

- a) La operación \circ es cerrada, es decir, el producto de dos elementos en G nos da un tercer elemento que pertenece a G . Por ejemplo, $g_1 \circ g_2 = g_3$, donde g_1, g_2, g_3 son elementos de G .
- b) La operación \circ es asociativa, es decir, el resultado del producto de tres elementos de G no depende de la asociación de dos de ellos. Por ejemplo, $(g_1 \circ g_2) \circ g_3 = g_1 \circ (g_2 \circ g_3)$, donde g_1, g_2, g_3 son elementos de G .
- c) Existe un elemento identidad $g_0 = e$, tal que $g_i \circ e = g_i$, para todo g_i en G .
- d) Cada elemento g_i en G tiene su inverso g_i^{-1} en G tal que $g_i \circ g_i^{-1} = e$.

Un grupo es no Abelianiano si $g_i \circ g_j \neq g_j \circ g_i$, para al menos dos elementos g_i, g_j de G , de otra forma es un grupo Abelianiano. Si los elementos de G no dependen de parámetros que varían en forma continua en un intervalo de valores se dice que el grupo es discreto. Un grupo es finito si el número de sus elementos es finito.

Un ejemplo de grupo discreto Abelianiano es el grupo cíclico



$Z_2 = \{e, a\}$, donde a es el generador del grupo y cumple $a^2 = e$. Se dice entonces que el elemento a es de orden dos. La regla de multiplicación del grupo Z_2 está dada en la Tabla 1.

Tabla 1. Regla de multiplicación del grupo Z_2 .

| | | |
|---------|-----|-----|
| \circ | e | a |
| e | e | a |
| a | a | e |

Esto indica que $e \circ e = e, e \circ a = a, a \circ e = a, a \circ a = e$. En este caso el elemento a es su propio inverso pues a es de orden dos.

Los elementos de un grupo G se pueden clasificar en clases de conjugación, las cuales están formadas por elementos de G que son conjugados entre sí. Dos elementos g y g' son conjugados con respecto a otro elemento h de G si se cumple que $h \circ g \circ h^{-1} = g'$. Las clases de conjugación no tienen elementos en común y la clase trivial la forma el elemento identidad. De esta forma la unión de clases de conjugación resulta en todos los elementos del grupo G .

Una representación matricial del grupo G es un mapeo de los elementos g a matrices $U(g)$ en un espacio vectorial V de dimensión igual al tamaño de las matrices $U(g)$ y tal que se cumplen las siguientes dos propiedades:

- i) $U(e) = \mathbb{1}$, donde $\mathbb{1}$ es la matriz identidad en V .
- ii) Si $g_1 \circ g_2 = g_3$ en G , entonces $U(g_1) * U(g_2) = U(g_3)$ en V , donde $*$ indica la multiplicación de matrices.

Una representación matricial en un espacio vectorial V en dos dimensiones para este grupo Z_2 es $\{U(e), U(a)\}$, donde

$$U(e) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, U(a) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Otras opciones para $U(a)$ son,

$$U(a) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad \text{y} \quad U(a) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Cada una de estas tres representaciones para el elemento a de Z_2 cumple $U(a) * U(a) = U(a)^2 = U(e) = 1$. Por lo tanto, el conjunto de matrices $K = \{U(e), U(a)\}$, donde $U(a)$ es cualquiera de las tres matrices presentadas anteriormente, forman un grupo Z_2 . Es directo verificar que estos elementos cumplen la regla de multiplicación de Z_2 .

2.1 GRUPO DIEDRAL D_4

El grupo diedral D_4 es el grupo de simetrías del cuadrado bajo las siguientes transformaciones: rotaciones de 90° con respecto a su centro y reflexiones con respecto a sus cuatro ejes de simetría, los cuales se muestran en la Figura 1. Este conjunto de transformaciones cumple las propiedades que definen a un grupo, el cual es conocido como el grupo diedral o diédrico D_4 . Este grupo tiene ocho elementos que denotamos por

$$D_4 = \{e, \rho_1, \rho_2, \rho_3, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4\},$$

donde e denota al elemento identidad, las rotaciones corresponden a $\rho_i, i=1,2,3$, y las reflexiones a $\sigma_j, j=1,2,3,4$. Se cumple que $\rho_1^4 = e$ y que $\sigma_j^2 = e$ para $j=1,2,3,4$. Esto nos dice que la rotación ρ_1 de 90° es de orden cuatro, y que cada una de las reflexiones σ_j son de orden dos.



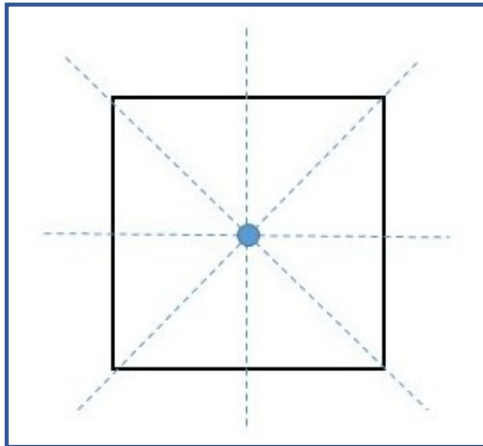


Figura 1. Geométricamente el grupo diedral D_4 surge por las transformaciones de simetría del cuadrado: rotaciones de 90° con respecto a su centro, y reflexiones respecto a sus cuatro ejes de simetría mostrados con líneas punteadas.

La regla de multiplicación del grupo D_4 se presenta en la **Tabla 2**, la cual nos dice el resultado de multiplicar elementos de D_4 . Por ejemplo, $\sigma_1 \circ \sigma_3 = \rho_2$, $\rho_3 \circ \sigma_4 = \sigma_3$, etc. Notamos que no todos los elementos conmutan, por ejemplo, $\sigma_4 \circ \rho_1 = \sigma_3$, mientras que $\rho_1 \circ \sigma_4 = \sigma_1$. Por lo tanto, el grupo D_4 es un grupo no Abelianiano.

Tabla 2. Regla de multiplicación del grupo D_4 .

| | | | | | | | | |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| \circ | e | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_4 |
| e | e | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | σ_1 | σ_2 | σ_3 | σ_4 |
| ρ_1 | ρ_1 | ρ_2 | ρ_3 | e | σ_2 | σ_3 | σ_4 | σ_1 |
| ρ_2 | ρ_2 | ρ_3 | e | ρ_1 | σ_3 | σ_4 | σ_1 | σ_2 |
| ρ_3 | ρ_3 | e | ρ_1 | ρ_2 | σ_4 | σ_1 | σ_2 | σ_3 |
| σ_1 | σ_1 | σ_4 | σ_3 | σ_2 | e | ρ_3 | ρ_2 | ρ_1 |
| σ_2 | σ_2 | σ_1 | σ_4 | σ_3 | ρ_1 | e | ρ_3 | ρ_2 |
| σ_3 | σ_3 | σ_2 | σ_1 | σ_4 | ρ_2 | ρ_1 | e | ρ_3 |
| σ_4 | σ_4 | σ_3 | σ_2 | σ_1 | ρ_3 | ρ_2 | ρ_1 | e |

Una representación matricial en un espacio vectorial V de dos dimensiones para el grupo D_4 es la siguiente (Ishimori et al., 2010),

$$U(e) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, U(\rho_1) = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, U(\rho_2) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, U(\rho_3) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$U(\sigma_1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, U(\sigma_2) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, U(\sigma_3) = \begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, U(\sigma_4) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Esta representación cumple, obviamente, las propiedades que definen a una representación del grupo, es decir, $U(e) = 1$ (la matriz identidad), y $U(g_1) * U(g_2) = U(g_3)$ en V si $g_1 \circ g_2 = g_3$ en D_4 . Por ejemplo,

$$U(\sigma_2) * U(\sigma_1) = U(\rho_1), U(\rho_3) * U(\sigma_3) = U(\sigma_2),$$

lo cual está en acuerdo con los productos $\sigma_2 \circ \sigma_1 = \rho_1$ y $\rho_3 \circ \sigma_3 = \sigma_2$ en D_4 mostrados en la Tabla 2.

El origen del grupo D_4 por las transformaciones de simetría del cuadrado brinda una conexión importante entre un objeto con geometría usual y la estructura algebraica de un grupo. En la siguiente sección mostramos un origen distinto para este grupo usando las propiedades geométricas y algebraicas de un orbifold.

3. ORBIFOLD

Un orbifold toroidal Abeliano en d dimensiones se define mediante la relación

$$O = \frac{T}{P},$$



donde T es el toro en d dimensiones y P es el grupo de punto, que en nuestro caso corresponde al grupo cíclico Z_N . El toro T se define por

$$T = \frac{R}{\Lambda},$$

donde R es el espacio real en d dimensiones y Λ es la retícula del toro T definida por

$$\Lambda = \{n_i e_i, n_i \in Z\},$$

donde e_i , con $i=1,2,\dots,d$, son los vectores base de la retícula Λ . El grupo de punto $P=Z_N$ debe ser una simetría de la retícula del toro. Una manera alternativa de definir al orbifold está dada por

$$O = \frac{R}{S},$$

donde S es el grupo de espacio, el cual está formado por el grupo de punto $P=Z_N$ y por las traslaciones $n_i e_i$ en la retícula Λ del toro. Los elementos de S son denotados por $g=(\vartheta, \lambda)$, donde ϑ es un elemento de $P=Z_N$, y $\lambda=n_i e_i$ es una traslación en la retícula. El producto de dos elementos en S está definido mediante

$$g_1 g_2 = (\vartheta_1, \lambda_1) (\vartheta_2, \lambda_2) = (\vartheta_1 \vartheta_2, \vartheta_1 \lambda_2 + \lambda_1).$$

La definición del toro establece que las coordenadas x de R están relacionadas por

$$x' = x + n_i e_i,$$

mientras que la definición del orbifold indica que los elementos g del grupo de espacio S actúan sobre las coordenadas x de R mediante la identificación

$$x' = gx = (\vartheta, n_i e_i) x = \vartheta x + n_i e_i.$$



En el orbifold se pueden tener puntos fijos cuando $x' = x$ en la expresión anterior. De esta forma los puntos fijos están dados por

$$x = (1 - \vartheta)^{-1} n_i e_i$$

El elemento $g = (\vartheta, n_i e_i)$ de S asociado a un punto fijo x se le llama elemento constructor. Por la relación de conjugación en el grupo de espacio S se tiene que el elemento $g = (\vartheta, \lambda)$ es conjugado de $g' = (\vartheta, \lambda + \Omega)$, donde a $\Omega = (1 - \vartheta)\Lambda$ se le conoce como la retícula invariante de los puntos fijos. Entonces, dos elementos de S son conjugados si difieren por una traslación en la retícula invariante de los puntos fijos.

3.1 ORBIFOLD Z_2 UNIDIMENSIONAL

En este orbifold el grupo de punto P es el grupo cíclico $Z_2 = \{e, a\}$, donde $a^2 = e$. Al elemento a se le llama el generador del grupo. Una representación unidimensional de Z_2 es $e = 1$ y $a = -1$. Este grupo puede relacionarse a una reflexión de x a $-x$. Por ejemplo, el punto x es enviado a su reflejo $-x$ mediante la acción del elemento a de Z_2 sobre x , es decir, $ax = -x$

La retícula del toro es $\Lambda = \{n_1 e_1\}$, donde n_1 es un número entero, y $e_1 = 1$ por simplicidad. De la definición del toro se tiene la identificación

$$x' = x + n_1 e_1,$$

lo cual nos dice que todos los puntos x en el espacio real unidimensional R que difieren por una traslación $n_1 e_1$ denotan el mismo punto en el toro. Esto es equivalente a la geometría del



círculo como se muestra en la Figura 2. Notamos que la reflexión efectuada por Z_2 es una simetría de la retícula del toro unidimensional, razón por la cual hemos elegido al grupo de punto P como Z_2 .

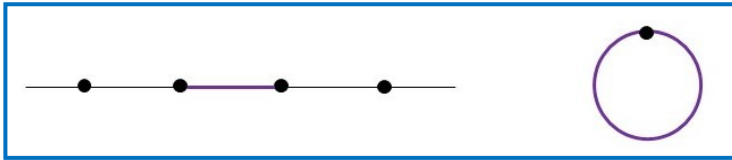


Figura 2. Geometría del toro unidimensional. A la izquierda se muestra la retícula del toro, donde cada punto es identificado a sí mismo en el toro. Esto representa la geometría del círculo. El dominio fundamental del toro se muestra resaltando la longitud entre dos puntos adyacentes en la figura de la izquierda y corresponde a la circunferencia del círculo.

El orbifold Z_2 en una dimensión está dado por

$$O = \frac{T}{Z_2}.$$

Esto nos dice que aplicamos una simetría de reflexión Z_2 al toro unidimensional (el círculo). ahora los puntos x en R están relacionados por

$$x' = ax + n_1 e_1 = -x + n_1 e_1,$$

donde hemos usado que $a = -1$, el elemento no trivial de Z_2 . Al realizar esta identificación obtenemos el orbifold Z_2 , donde los dos puntos que quedan inalterados ante esta reflexión son llamados puntos fijos. Una manera ilustrativa de ver esto se muestra en la **Figura 3.**

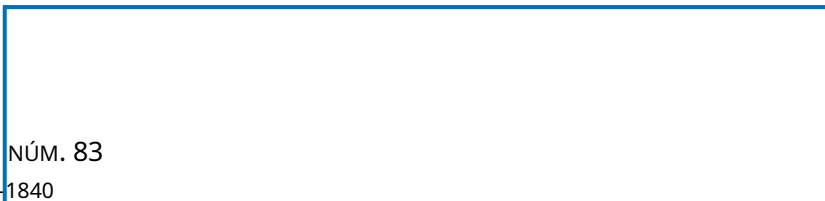




Figura 3. El orbifold Z_2 se obtiene al aplicar una simetría discreta de reflexión Z_2 al círculo (toro en una dimensión). La geometría de este orbifold es un semicírculo. El dominio fundamental del orbifold es ahora la mitad del dominio fundamental del círculo, y está acotado por dos puntos fijos denotados por una estrella y un punto.

3.2 ELEMENTOS PARA DETERMINAR EL GRUPO QUE RESULTA DEL ORBIFOLD Z_2

Los principales elementos que determinan al grupo que surge de la geometría de un orbifold son los puntos fijos y la regla de selección del grupo de espacio, los cuales presentamos enseguida.

3.2.1 Puntos fijos

En el orbifold Z_2 unidimensional los puntos fijos están dados por

$$x = \frac{n_1}{2},$$

donde n_1 es un entero. Existe un número infinito de puntos fijos, pero solo dos puntos fijos son inequivalentes en el orbifold. Para entender esto, recordemos que a cada punto fijo x le corresponde un elemento g del grupo de espacio S llamado elemento constructor. Los elementos de S para el orbifold Z_2 se pueden clasificar en dos clases de conjugación. Todos los elementos en una clase son elementos conjugados y denotan al mismo punto fijo en el orbifold. Por lo tanto, al tener dos clases de conjugación en

S se tienen dos puntos fijos inequivalentes en el orbifold Z_2 . Por esta razón, hablamos de dos puntos fijos (inequivalentes), y una muestra representativa de ellos se aprecia en la Figura 3, por ejemplo el punto y la estrella que podemos asociar a $x=0$ con $n_1=0$, y $x=\frac{1}{2}$ con $n_1=1$, respectivamente. De esta manera, los dos elementos constructores para los dos puntos fijos se pueden denotar por

$$g=(a, m_1 e_1),$$

donde $a=-1$ y $m_1=0,1$.

3.2.2 Regla de selección del grupo de espacio

La regla de selección del grupo de espacio establece que el producto de n elementos constructores g de S debe ser trivial, es decir,

$$\prod_{j=1}^n g_j = \zeta(1,0) \zeta,$$

donde $g_j=(a^{(j)}, m_1^{(j)} e_1)$ denota los elementos constructores para los puntos fijos en el orbifold Z_2 , y $(1,0)$ es el elemento identidad en el grupo de espacio S . Por las relaciones de conjugación para los elementos de S , se tiene que el elemento $(1,0)$ es equivalente a $(1,0+\Omega)$ donde Ω es la retícula invariante de los puntos fijos. En el orbifold Z_2 se tiene que $\Omega=(1-a)n_1 e_1=2m$, donde m denota un número entero, es decir Ω está formada por todos los números pares. De esta manera, la regla de selección del grupo de espacio aplicada al orbifold Z_2 se puede escribir como

$$\prod_{j=1}^n g_j = \prod_{j=1}^n (a^{(j)}, m_1^{(j)} e_1) = \zeta(1,2m) \zeta,$$



con m un número entero. Al aplicar la regla de multiplicación para los elementos del grupo de espacio es posible obtener el elemento que resulta de los n productos de elementos constructores. En esta parte es conveniente separar la parte rotacional y traslacional, y analizar las condiciones que se deben cumplir para ser consistentes con la regla de selección del grupo de espacio.

4. ORIGEN DEL GRUPO D_4 EN EL ORBIFOLD Z_2

En esta sección aplicamos las herramientas expuestas en la sección 3.2 para obtener el grupo que resulta del orbifold Z_2 . Nos centramos entonces en los puntos fijos y en la regla de selección del grupo de espacio.

De la parte geométrica notamos que este orbifold tiene dos puntos fijos inequivalentes, como se mostró en la Figura 3. El intercambio de ellos es una simetría del orbifold, ya que su geometría sigue siendo la misma. Esta simetría da lugar al grupo de permutaciones S_2 , el cual tiene dos elementos, la identidad e y un elemento b tal que $b^2=e$. El grupo S_2 es algebraicamente igual al grupo Z_2 , es decir, cumple la misma regla de multiplicación.

Veamos ahora lo que establece la regla de selección del grupo de espacio. La parte rotacional da la condición

$$a^n=1,$$

lo cual implica que $n=2m$, donde m es un número entero. Esto define a un grupo Z_2 .



La parte traslacional presenta la condición

$$m_1^{(1)} + m_1^{(2)} + \dots + m_1^{(n)} = 2m,$$

Esto da lugar a otro grupo Z_2 , el cual denotamos por Z_2' para diferenciarlo en notación con el grupo Z_2 de la parte rotacional. Se tiene que el grupo que resulta de la regla de selección del grupo de espacio es $Z_2 \times Z_2'$, llamado el producto directo de Z_2 con Z_2' .

De esta forma, hemos obtenido un grupo de permutaciones S_2 por los dos puntos fijos, y un grupo $Z_2 \times Z_2'$ por la regla de selección del grupo de espacio. El grupo que resulta del orbifold Z_2 está dado por la clausura multiplicativa de S_2 con $Z_2 \times Z_2'$. Esto da origen al grupo diedral D_4 a partir de la geometría del orbifold Z_2 en una dimensión (Kobayashi y col., 2007).

Una manera de notar lo anterior es la siguiente. Sean σ_1, ρ_2 y σ_4 los elementos que generan los grupos S_2, Z_2 y Z_2' , respectivamente. Se cumple entonces que $g^2 = e$, para $g = \sigma_1, \rho_2, \sigma_4$. Ahora consideremos la siguiente representación de dimensión dos para cada uno de estos tres elementos,

$$U(\sigma_1) = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, \quad U(\rho_2) = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}, \quad U(\sigma_4) = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix}.$$

Notamos que, efectivamente, se cumple $U(g) * U(g) = U(g)^2 = 1 = U(e)$, para $g = \sigma_1, \rho_2, \sigma_4$, y donde 1 denota la matriz identidad de dimensión dos. Esto muestra que cada una de estas tres matrices generan un grupo S_2, Z_2 y Z_2' , respectivamente. La clausura multiplicativa de S_2 con $Z_2 \times Z_2'$ indica realizar los productos entre los tres generadores para obtener un conjunto G de un cierto número n elementos que sea cerrado, es decir, que el producto de cualesquiera de estos n elementos de como resultado



un elemento que pertenece al conjunto G . Este conjunto de n elementos da lugar al grupo G que resulta del orbifold Z_2 .

Explícitamente, a partir de los tres elementos generadores $U(\sigma_1)$, $U(\rho_2)$ y $U(\sigma_4)$ se tienen los siguientes resultados,

$$U(\sigma_1)*U(\rho_2)=U(\sigma_3)=\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}, U(\sigma_1)*U(\sigma_4)=U(\rho_1)=\begin{pmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$U(\rho_2)*U(\sigma_4)=U(\sigma_2)=\begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, U(\sigma_4)*U(\sigma_1)=U(\rho_3)=\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

De esta manera, se obtiene un conjunto G de ocho elementos que es cerrado bajo la operación de multiplicación de matrices. Este conjunto está dado por,

$$G=\{U(e), U(\rho_1), U(\rho_2), U(\rho_3), U(\sigma_1), U(\sigma_2), U(\sigma_3), U(\sigma_4)\}.$$

Se tiene que los elementos de G cumplen la regla de multiplicación del grupo D_4 presentada en la Tabla 2. Por ejemplo,

$$U(\rho_3)*U(\sigma_2)=U(\sigma_1)=\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}, U(\rho_1)*U(\rho_3)=U(e)=\begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

Por lo tanto, el grupo que resulta de la geometría del orbifold Z_2 unidimensional es $G=D_4$, el grupo diedral de ocho elementos. Esto representa un origen distinto para el grupo D_4 mediante las propiedades geométricas y algebraicas del orbifold Z_2 . Resulta que los orbifolds y los grupos tienen aplicaciones importantes en el contexto de las compactificaciones de cuerdas y la física de partículas. De esto platicamos en la siguiente sección.



5. ORBIFOLDS Y GRUPOS: IMPORTANCIA EN LA FÍSICA

Los orbifolds y grupos son relevantes en el contexto de la teoría de cuerdas y su compactificación en orbifolds para obtener modelos prometedores en la física de partículas. En la Figura 4 se muestra un esquema que ilustra estas conexiones, las cuales comentamos enseguida.

Los orbifolds son usados en la compactificación de la cuerda heterótica. Esta teoría está definida en un espacio-tiempo de diez dimensiones y tiene un grupo G que la caracteriza y un contenido de partículas C . Para hacer contacto con nuestro mundo ordinario de cuatro dimensiones (tres dimensiones espaciales y una temporal), es necesario compactificar (enrollar u ocultar) las seis dimensiones espaciales adicionales de la teoría de cuerdas en un espacio compacto, donde un ejemplo de tal espacio es un orbifold en seis dimensiones. Al realizar el proceso de compactificación en orbifolds se obtienen modelos en cuatro dimensiones que pueden ser usados para estudiar diversos aspectos en la física de partículas.

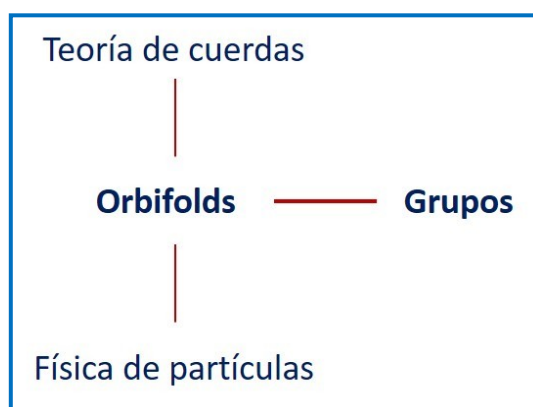


Figura 4. Esquema que muestra una relación entre orbifolds y grupos en el contexto de las compactificaciones de cuerdas en orbifolds con aplicaciones en

la física de partículas.

Tales modelos están caracterizados, entre otros detalles, por un grupo G_2 que es subgrupo de G_1 , y un contenido C_2 de partículas que contiene las partículas de C_1 que sobreviven la compactificación y otras nuevas partículas. Las características de G_2 y C_2 dependen, por ejemplo, de la geometría de los orbifolds y de los parámetros usados en las compactificaciones, tales como los llamados vectores de desplazamiento y líneas de Wilson (Ramos-Sánchez, 2009).

En el estudio de la física de partículas se tiene al ME, el cual es una teoría en cuatro dimensiones caracterizada por un grupo H y un contenido de partículas M , clasificadas en bosones y fermiones. El grupo H es un subgrupo del grupo G_2 , y el conjunto de partícula M es un subconjunto del conjunto de partículas C_2 . Uno de los intentos en las compactificaciones de cuerdas en orbifolds es obtener modelos en cuatro dimensiones que sean cercanos al ME de la física de partículas en el sentido de que estos modelos contengan el grupo y partículas del ME, además de un menor número y tipo de partículas adicionales a las ME. Tales modelos son llamados modelos tipo ME y han sido identificados en distintos orbifolds (Pérez Martínez y col., 2021).

Un problema en la física de partículas es el problema del sabor, el cual se presenta en el sector de Yukawa del ME, donde los fermiones adquieren masa mediante el mecanismo de Higgs o rompimiento espontáneo de la simetría. Los experimentos indican que las masas de los fermiones muestran un patrón de jerarquía, por ejemplo, los cuarks de la tercera generación son más pesados que los de la primera. Las masas de los fermiones en el ME dependen del valor esperado en el vacío del Higgs y de parámetros



CienciAcierta

libres como los acoplamientos de Yukawa, los cuales son ajustados para reproducir los valores de masa medidos (Langacker, 2017). El problema del sabor busca explicar por qué los parámetros libres del ME tienen tales valores, y en consecuencia explicar la jerarquía observada en los valores de masa para los fermiones (quarks y leptones) del ME. El problema del sabor también busca dar respuesta a otras cuestiones, por ejemplo, por qué solo existen tres generaciones de fermiones, y por qué las matrices de mezcla para leptones y cuarks son diferentes. Una matriz de mezcla está parametrizada, por ejemplo, por ángulos de rotación llamados ángulos de mezcla, y relacionan los estados cuánticos de los fermiones en dos bases diferentes. Los ángulos de mezcla son otro conjunto de parámetros libres en el ME (Ishimori y col., 2010; Zupan, 2019; Nilles y Ramos-Sánchez, 2024). Una manera de tratar este problema es considerar grupos discretos no Abelianos como el grupo diedral D_4 , el grupo de permutaciones S_3 , el grupo alternante A_4 , el grupo $\Delta(54)$, entre otros (Hernández y col., 2022; Félix y col., 2006; Ishimori y col., 2010, Bora y col., 2024). Los grupos usados en este contexto se les suele llamar grupos de sabor, donde la palabra sabor hace referencia a los distintos tipos o sabores de fermiones (por ejemplo, para los leptones se tiene el electrón, el muón y el tau, además del neutrino del electrón, del muón y del tau). Es remarcable conocer que varios grupos de sabor pueden ser obtenidos de los orbifolds usados en las compactificaciones de cuerdas (Kobayashi y col., 2007; Nilles y col., 2012; Ramos-Sánchez y Vaudrevange, 2019). Por ejemplo, el grupo diedral D_4 surge de la geometría del orbifold unidimensional con grupo de punto Z_2 , mientras que el grupo $\Delta(54)$ puede originarse del orbifold en dos dimensiones con grupo de punto Z_3 (Kobayashi y col., 2007). Una lista más completa de grupos de sabor que se han encontrado en distintas geometrías de orbifolds en seis



dimensiones es reportada en la referencia (Olguín-Trejo y col., 2018).

Mediante el uso de las propiedades matemáticas de los grupos, se busca restringir o dar una forma a las estructuras que determinan las masas de los fermiones en el ME y realizar predicciones para sus valores de masa al ajustar un cierto número de parámetros con la finalidad de comparar los resultados con las observaciones experimentales. El grupo D_4 ha sido considerado en estas exploraciones (Miskaoui, 2024; Srivastava y col., 2022; Hernández y col., 2022). Modelos con diferentes grupos de sabor, como D_4 y $\Delta(54)$, conllevan a distintas predicciones ya que, por ejemplo, la manera de asignar a las partículas de un cierto modelo a las representaciones del grupo de sabor determina los acoplamientos de Yukawa permitidos entre los fermiones y campos escalares del modelo, y en consecuencia, las estructuras que dan lugar a las masas y ángulos de mezcla después del rompimiento espontáneo de la simetría. Los acoplamientos de Yukawa entre los fermiones y campos escalares como el Higgs deben ser invariantes no solo bajo el grupo del ME, sino también ante el grupo de sabor considerado (Ishimori y col., 2010; Hernández y col., 2022; Bora y col., 2024). El hecho de que grupos de sabor como D_4 o $\Delta(54)$, puedan originarse de una teoría mayor como la teoría de cuerdas y sus compactificaciones en orbifolds, brinda una motivación adicional para construir modelos de sabor basados en estos grupos (Ishimori y col., 2008; Carballo-Pérez y col., 2016).

Se aprecia entonces que los grupos aparecen en los tres elementos conectados verticalmente en el esquema de la Figura 4, es decir, están presentes en la teoría de cuerdas, en los orbifolds y en la física de partículas. En la teoría de la cuerda heterótica se tiene que un grupo caracteriza al tipo de teoría, por ejemplo, puede ser



$G_1 = E_8 \times E_8$ o $G_1 = SO(16) \times SO(16)$ (Gross y col., 1985; Dixon y Harvey, 1986). En los orbifolds hemos visto que su propia definición involucra grupos tipo Z_N , además de que dan lugar a grupos de sabor, como el caso del grupo D_4 a partir del orbifold Z_2 unidimensional. Por otra parte, el ME de la física de partículas está caracterizado por el grupo $H = SU(3) \times SU(2) \times U(1)$, y para tratar el problema del sabor se han considerado grupos discretos no Abelianos como D_4, S_3, A_4 , entre otros, (Ishimori y col., 2010). Es importante mencionar que los grupos del ME y de la teoría de cuerda heterótica son ejemplos de grupos continuos o grupos de Lie, los cuales tienen un lugar especial en la descripción de las interacciones fundamentales y la construcción de modelos más allá del ME (Slansky, 1981; Babu y col., 2023; Rivero, 2024; Chiang y col., 2024).

Otros grupos que también están siendo usados para tratar el problema del sabor son los grupos modulares (Feruglio, 2018; Kikuchi y col., 2022; Kobayashi y Tanimoto, 2024; Ding y King, 2024; Arriaga-Osante y col., 2024). Una de sus ventajas es que permiten reducir el número de parámetros necesarios para predecir los valores de masa y mezcla para los fermiones, comparado al caso de los grupos discretos no Abelianos que no son modulares. En el contexto de grupos modulares de sabor se tiene que los acoplamientos de Yukawa son formas modulares. Resulta interesante que, mediante otros procedimientos, algunos grupos modulares, junto con los llamados grupos eclécticos, pueden ser obtenidos de la geometría de los orbifolds usados en las compactificaciones de la cuerda heterótica (Baur y col., 2019; Nilles y col., 2020; Baur y col., 2024).



6. CONCLUSIONES

En este artículo mostramos cómo las propiedades geométricas y algebraicas del orbifold Z_2 unidimensional dan lugar al grupo diedral D_4 . En particular vimos que los puntos fijos y la regla de selección del grupo de espacio son las propiedades que determinan al grupo que surge del orbifold. Esto representa un origen diferente y atractivo para el grupo diedral D_4 , comparado al caso usual donde el grupo D_4 es obtenido por las simetrías del cuadrado.

Apreciamos que los orbifolds son interesantes ya que además de dar origen a distintos grupos, son empleados en la compactificación de la cuerda heterótica para obtener modelos en la física de partículas y estudiar problemas como el problema del sabor, el cual trata de explicar, por ejemplo, el origen de la jerarquía de masas observada en los fermiones del ME. Remarcamos que una propuesta para tratar el problema del sabor es considerar grupos discretos no Abelianos como el grupo diedral D_4 , aunque hay muchos otros grupos también. A los grupos empleados en este contexto se les llama grupos de sabor.

Notamos que los grupos aparecen en distintos niveles de las teorías físicas. Por ejemplo, en en la compactificación de la cuerda heterótica en orbifolds y en la física de partículas. Por lo tanto, los grupos y orbifolds son estructuras que vale la pena seguir explorando para vislumbrar, junto con otros elementos de las teorías modernas de la física, las razones del por qué observamos la jerarquía de masas para los fermiones, además de proveernos de herramientas matemáticas de simetría que nos ayudan a entender una parte de la naturaleza de nuestro Universo.



REFERENCIAS

- Arriaga-Osante, C., Liu, X., and Ramos-Sánchez, S. (2024). Quark and lepton modular models from the binary dihedral flavor symmetry. *Journal of High Energy Physics*, 2024(5):119. [https://doi.org/10.1007/jhep05\(2024\)119](https://doi.org/10.1007/jhep05(2024)119)
- Babu, K. S., Bajc, B., and Susič, V. (2023). Trinification from E6 symmetry breaking. *Journal of High Energy Physics*, 2023(7): 11. [https://doi.org/10.1007/jhep07\(2023\)011](https://doi.org/10.1007/jhep07(2023)011)
- Baur, A., Nilles, H. P., Ramos-Sánchez, S., Trautner, A., and Vaudrevange, P. K. S. (2024). The eclectic flavor symmetries of T2/ZK orbifolds. *Journal of High Energy Physics*, 2024(9):159. [https://doi.org/10.1007/jhep09\(2024\)159](https://doi.org/10.1007/jhep09(2024)159)
- Baur, A., Nilles, H. P., Trautner, A., and Vaudrevange, P. K. (2019). Unification of flavor, CP, and modular symmetries. *Physics Letters B*, 795: 7-14. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2019.03.066>
- Bora, H., Ng, K. F., Barman, A., and Thapa, B. (2024). Majorana neutrinos in Double Inverse Seesaw and $\Delta(54)$ Flavor Models. *International Journal of Modern Physics A*, 39(15n16): 2450066. <https://doi.org/10.1142/s0217751x24500660>
- Carballo-Pérez, B., Peinado, E., and Ramos-Sánchez, S. (2016). $\Delta(54)$ flavor phenomenology and strings. *Journal of High Energy Physics*, 2016(12): 131. [https://doi.org/10.1007/jhep12\(2016\)131](https://doi.org/10.1007/jhep12(2016)131)
- Chiang, C., Tsumura, K., Uchida, Y., and Yamatsu, N. (2024). Pseudo-Nambu-Goldstone dark matter in SU(7) grand unification. *Physical Review D*, 109(5): 055040. <https://doi.org/10.1103/physrevd.109.055040>
- Ding, G., and King, S. F. (2024). Neutrino mass and mixing with modular symmetry. *Reports on Progress in Physics*, 87(8): 084201. <https://doi.org/10.1088/1361-6633/ad52a3>
- Dixon, L., and Harvey, J. (1986). String theories in ten dimensions without spacetime supersymmetry. *Nuclear Physics B*, 274(1): 93-105. [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(86\)90619-x](https://doi.org/10.1016/0550-3213(86)90619-x)



- Dixon, L., Harvey, J., Vafa, C., and Witten, E. (1985). Strings on orbifolds. *Nuclear Physics B*, 261: 678-686. [https://doi.org/10.1016/0550-3213\(85\)90593-0](https://doi.org/10.1016/0550-3213(85)90593-0)
- Félix, O., Mondragón, A., Mondragón, M., and Peinado, E. (2007). Neutrino masses and mixings in a minimal S₃-invariant extension of the standard model. *AIP Conference Proceedings*. <https://doi.org/10.1063/1.2751980>
- Feruglio, F. (2018). Are neutrino masses modular forms? *WORLD SCIENTIFIC EBooks*, 227–266. https://doi.org/10.1142/9789813238053_0012
- Gross, D. J., Harvey, J. A., Martinec, E., and Rohm, R. (1985). Heterotic string. *Physical Review Letters*, 54(6): 502-505. <https://doi.org/10.1103/physrevlett.54.502>
- Hernández, A. E. C., Long, H. N., Mora-Urrutia, M. L., Thao, N. H., and Vien, V. V. (2022). Fermion masses and mixings and g-2 muon anomaly in a 3-3-1 model with D₄ family symmetry. *The European Physical Journal C*, 82(8):769. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10639-9>
- Ishimori, H., Kobayashi, T., Ohki, H., Omura, Y., Takahashi, R., and Tanimoto, M. (2008). D₄ flavor symmetry for neutrino masses and mixing. *Physics Letters B*, 662(2): 178-184. <https://doi.org/10.1016/j.physletb.2008.03.007>
- Ishimori, H., Kobayashi, T., Ohki, H., Shimizu, Y., Okada, H., and Tanimoto, M. (2010). Non-Abelian Discrete Symmetries in Particle Physics. *Progress of Theoretical Physics Supplement*, 183: 1-163. <https://doi.org/10.1143/ptps.183.1>
- Kikuchi, S., Kobayashi, T., Tanimoto, M., and Uchida, H. (2022). Mass matrices with CP phase in modular flavor symmetry. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, 2022(11): 113B07. <https://doi.org/10.1093/ptep/ptac141>
- Kobayashi, T., Nilles, H. P., Plöger, F., Raby, S., and Ratz, M. (2007). Stringy origin of non-Abelian discrete flavor symmetries. *Nuclear Physics B*, 768(1-2): 135-156. <https://doi.org/10.1016/j.nuclphysb.2007.01.018>
- Kobayashi, T., and Tanimoto, M. (2024). Modular flavor symmetric models. *International Journal of Modern Physics A*, 39(09n10): 2450066. <https://doi.org/10.1142/s0217751x24410124>
- Langacker, P. (2020). *The standard model and beyond* (2nd ed.). CRC Press.



- Miskaoui, M. (2024). Neutrino model with broken μ - τ symmetry and unflavored leptogenesis with dihedral flavor symmetry. *Physics of The Dark Universe*, 45: 101507. <https://doi.org/10.1016/j.dark.2024.101507>
- Nilles, H. P., and Ramos-Sánchez, S. (2024). The flavor puzzle: Textures and symmetries. *International Journal of Modern Physics A*, 39(09n10): 2441003. <https://doi.org/10.1142/s0217751x24410033>
- Nilles, H. P., Ramos-Sánchez, S., and Vaudrevange, P. K. S. (2020). Eclectic flavor groups. *Journal Of High Energy Physics*, 2020(2): 45. [https://doi.org/10.1007/jhep02\(2020\)045](https://doi.org/10.1007/jhep02(2020)045)
- Olguín-Trejo, Y., Pérez-Martínez, R., and Ramos-Sánchez, S. (2018). Charting the flavor landscape of MSSM-like Abelian heterotic orbifolds. *Physical Review D.*, 98(10): 106020. <https://doi.org/10.1103/physrevd.98.106020>
- Pérez-Martínez, R., Ramos-Sánchez, S., and Vaudrevange, P. K. S. (2021). Landscape of promising nonsupersymmetric string models. *Physical Review. D.*, 104(4). <https://doi.org/10.1103/physrevd.104.046026>
- Ramond, P. (2010). *Group theory: A Physicist's Survey*. Cambridge University Press.
- Ramos-Sánchez, S. (2009). Towards low energy physics from the heterotic string. *Fortschritte Der Physik*, 57(10), 907-1036. <https://doi.org/10.1002/prop.200900073>
- Ramos-Sánchez, S., and Vaudrevange, P. K. S. (2019). Note on the space group selection rule for closed strings on orbifolds. *Journal Of High Energy Physics*, 2019(1). [https://doi.org/10.1007/jhep01\(2019\)055](https://doi.org/10.1007/jhep01(2019)055)
- Rivero, A. (2024). An interpretation of scalars in $SO(32)$. *The European Physical Journal C*, 84(10). <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-024-13368-3>
- Slansky, R. (1981). Group theory for unified model building. *Physics Reports*, 79(1), 1-128. [https://doi.org/10.1016/0370-1573\(81\)90092-2](https://doi.org/10.1016/0370-1573(81)90092-2)
- Srivastava, A., Levy, M., and Das, D. (2022). Diluting quark flavor hierarchies using dihedral symmetry. *The European Physical Journal C*, 82(3):205. <https://doi.org/10.1140/epjc/s10052-022-10125-2>
- Zupan, J. (2019). Introduction to flavour physics. *CERN Yellow Reports: School Proceedings*, 6, 181. <https://doi.org/10.23730/cyrsp-2019-006.181>



UNA MIRADA AL USO DE BIOPELÍCULAS A BASE DE PLANTAS COMO RECUBRIMIENTOS DE ALIMENTOS

LUZ P. MARTÍNEZ CASTILLO¹

LORENA FARÍAS CEPEDA¹

ANILÚ RUBIO RÍOS¹

ROSA I. NARRO CÉSPEDES¹

VÍCTOR. M. OVANDO
MEDINA²

A LOOK AT USING BIOFILMS AS PLANT-BASED FOOD COATINGS

RESUMEN

El presente artículo de revisión bibliográfica examina el uso de biopelículas a base de plantas como una alternativa sostenible para el recubrimiento de alimentos. A medida que el cambio climático es más notable y los niveles de contaminación por plásticos convencionales crece, las biopelículas derivadas de fuentes vegetales surgen como una alternativa sustentable para el recubrimiento de alimentos con propiedades funcionales y biodegradables. Este trabajo, analiza las características brindadas por las biopelículas a base de plantas que contribuyen a la preservación de alimentos. Las propiedades físicas que poseen estas biopelículas son de gran trascendencia debido a que ayudan a prevenir la decoloración y retardar la oxidación de lípidos, además de que cuentan con la capacidad para reducir e inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos y de actuar como una barrera semipermeable que regula el intercambio de gases como el oxígeno (O₂), el dióxido de carbono (CO₂) y el vapor de agua; entre otras propiedades que también son relevantes y trascendentes como son la biocompatibilidad y la seguridad que presenten estos recubrimientos en los alimentos.

Palabras clave: biopelículas; recubrimiento; biopolímeros; alimentos.

1. Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.

2. Ingeniería Química, Unidad Académica Multidisciplinaria Región Altiplano, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

Correspondencia
lorenafarias@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000/0001/7835/9628>



CienciAcierta

Fecha de recepción
13 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
10 de marzo de 2025.

ABSTRACT

This literature review article examines the use of plant-based biofilms as a sustainable alternative for food coating. As climate change becomes more noticeable and levels of pollution from conventional plastics grow, biofilms derived from plant sources emerge as a sustainable alternative for food coating with functional and biodegradable properties. This work analyzes the characteristics provided by plant-based biofilms that contribute to food preservation. The physical properties of these biofilms are of great importance, because they help prevent discoloration and delay lipid oxidation, in addition to having the ability to reduce and inhibit the growth of pathogenic microorganisms and act as a semipermeable barrier that regulates the exchange of gases such as oxygen (O₂), carbon dioxide (CO₂) and water vapor; among other properties that are also relevant and transcendent, such as biocompatibility and the safety that these coatings present in foods.

Keywords: *biofilms; coating; biopolymers.*

1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la vida, los seres humanos han desarrollado diversos materiales y tecnologías que facilitan las actividades cotidianas, como el transporte, el abastecimiento de energía y el



CienciAcierta

almacenamiento y preservación de alimentos, entre otras cosas. En este contexto, el uso de plásticos se ha convertido en una necesidad indispensable. En la década de los cincuenta se desarrollaron los primeros plásticos, materiales derivados del petróleo, su producción aumentó debido a versatilidad en diversas aplicaciones y su bajo costo de producción. Su éxito fue tan grande que para la década de los ochenta superó a otros materiales en su consumo (Lema Vera y col., 2020).

El uso de plástico facilitó la producción y distribución de los alimentos, así como también remplazaron materiales ya utilizados como el aluminio, el vidrio y el cartón. Pero esto generó enormes cantidades de residuos en el medio ambiente (suelo, agua y aire), siendo alarmante la contaminación en los océanos.

La creciente crisis de contaminación plástica en los océanos es un reflejo directo de los hábitos de consumo desmedidos y la falta de conciencia ambiental. Los plásticos persisten indefinidamente en el ambiente, ya que su proceso de degradación únicamente resulta en la fragmentación en partículas de menor tamaño, sin llegar a una descomposición total. Según datos proporcionados por la ONU, la producción diaria de desechos plásticos en territorio mexicano alcanza casi los 2 millones de kilogramos (López Aguirre y col, 2020)

Los materiales plásticos tienen la característica de liberar sustancias tóxicas conocidas como plastificantes. Investigaciones han demostrado que ciertos microorganismos bacterianos crean capas o biopelículas sobre los microplásticos, y estas capas pueden contener micro-organismos patógenos. Estos patógenos representan un riesgo potencial para la salud de cualquier ser vivo que entre en contacto con dichas partículas microplásticas (López Aguirre y col, 2020).



Si bien en la última década se han promovido campañas de reciclaje y se ha impulsado la cultura de menor consumo y más reutilización, las cantidades de plástico en los océanos sigue en números rojos. La acumulación desmedida de desechos plásticos en los océanos ha generado un fenómeno denominado “islas de plástico” las cuales consisten en la formación de grandes masas flotantes de residuos, estas formaciones han alcanzado dimensiones de áreas que superan el millón de kilómetros cuadrados, desde una perspectiva más específica se trata de extensiones de basura más grandes que algunos países (Lema Vera y col., 2020).

Dentro de las alternativas para contrarrestar y combatir esta contaminación por plásticos el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente dio luz verde a una importante resolución medioambiental. El objetivo principal de esta resolución es crear un instrumento legal internacional vinculante para combatir la contaminación por plásticos (Chediek y col., 2023).

Por lo anterior, en la actualidad existen diversas investigaciones sobre la eficiencia de los biopolímeros, que son biomoléculas de origen natural producidas por microorganismos, plantas y animales. Estos materiales se caracterizan por su capacidad de ser biodegradables y sostenibles. Según su fuente de obtención, los biopolímeros se clasifican en tres categorías principales: aquellos formados a partir de monómeros bioderivados con propiedades biodegradables, los que provienen de recursos renovables y, por último, los biopolímeros extraídos directamente de microorganismos (Basurto Flores y Medina Guerrero, 2023).

En los últimos años las biopelículas se han posicionado como una alternativa sustentable para el recubrimiento de alimentos, debido



a que comparten características con los plásticos convencionales; adicionalmente, estas biopelículas poseen cualidades como la biocompatibilidad en suelos, degradación microbiana en procesos de compostaje, etc. los cuales son sustentables y sostenibles.

Existen múltiples materiales en la naturaleza con los que se pueden desarrollar biopelículas con propiedades óptimas para el recubrimiento de alimentos, pero estas biopelículas deben de cumplir con ciertos criterios para que puedan ser empleados; específicamente en el enfoque de conservar o transportar algún alimento. El empaque de productos debe cumplir con determinadas funciones esenciales, actúa como recipiente contenedor, garantiza la conservación y protección del producto, incluyendo la prevención del desarrollo de bacterias, además de facilitar la distribución y el transporte mientras comunica información relevante al consumidor (Olmos y González, 2021).

Cabe recalcar que algunos productos alimenticios solo necesitan ser empacados con la finalidad de ser preservados o para facilitar su distribución comercial. Esto es común en alimentos frescos para consumo inmediato, debió a esto la creación de materiales con propiedades antibacterianas para incrementar su vida de anaquel es necesario. Una de las estrategias más utilizadas para disminuir la proliferación de microorganismos es la modificación de las superficies de los empaques (Olmos y González, 2021).

El propósito de la presente revisión de literatura es dar un panorama general sobre biopelículas comestibles para el recubrimiento de alimentos, así como describir sus propiedades, además de mostrar algunas aplicaciones comerciales reales y potenciales usos en la industria alimentaria



2. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DE LAS BIOPELÍCULAS

Las biopelículas actúan como una barrera semipermeable que regula el intercambio de gases cruciales como el O_2 y el CO_2 , así como el vapor de agua (Eum y col., 2009). Su aplicación para recubrimientos en frutas se basa en el costo de producción y la disponibilidad, así como en las características físicas y mecánicas como la resistencia a la tensión y la flexibilidad. También se consideran propiedades como brillo y opacidad, impacto en el intercambio de gases, resistencia al agua y a microorganismos, y su aceptación por parte de los consumidores (Vázquez y Guerrero, 2013). En la Figura 1 se muestra un ejemplo de biopelícula para el recubrimiento de alimentos y se ilustra su funcionamiento.

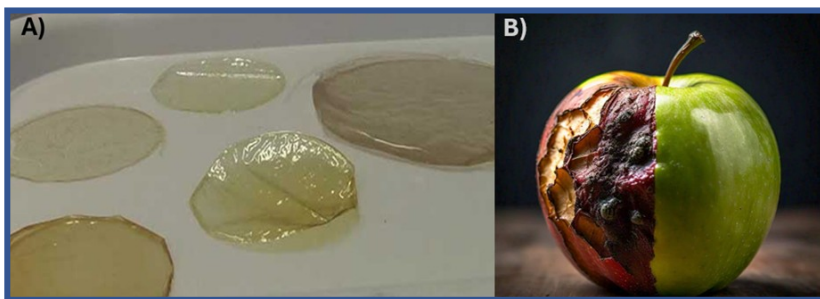


Figura 1. A) biopelículas para recubrimiento de alimentos (Alfa Editores, 2017); B) imagen ilustrativa de las propiedades de las biopelículas en recubrimiento de alimentos (imagen generada por IA).

Como se mencionó, las biopelículas deben contar con ciertas características y propiedades que permitan su implementación en la industria de alimentos ya sea para fines de transporte o de almacenamiento. Las biopelículas ofrecen múltiples beneficios

para los productos de origen animal, como la prevención de la decoloración, la inhibición de la oxidación de lípidos y la reducción de olores desagradables, además de mejorar la funcionalidad general del producto (Gupta y col., 2024).

La versatilidad de los recubrimientos se ha incrementado significativamente mediante la incorporación de diversos compuestos activos. Entre los que destacan ácidos orgánicos, compuestos fenólicos, sustancias aromáticas, vitaminas, enzimas y componentes nutraceuticos. Esta innovación ha ampliado considerablemente el espectro de aplicaciones de estas películas en el contexto de los sistemas alimentarios, permitiendo adaptarlas a una variedad de necesidades específicas en la industria alimentaria (Gupta y col., 2024).

De acuerdo con lo anterior, los recubrimientos a base de plantas disminuyen y retardan la proliferación de microorganismos patógenos; Por ejemplo, Lopes y colaboradores reportaron el uso potencial de los extractos vegetales como componentes bioactivos en películas y recubrimientos comestibles. La investigación se enfocó específicamente en salvia (*S. officinalis* (Lamiaceae)), tomillo (*T. vulgaris* L. (Lamiaceae)), regaliz (*G. glabra* L. (Fabaceae)) y eucalipto (*E. obliqua* L'Hér (Myrtaceae)). Las muestras se analizaron y caracterizaron para observar sus propiedades bioactivas; para posteriormente incorporar los extractos en la formulación de recubrimientos y películas comestibles a base de alginato. La mayoría de los recubrimientos mostraron capacidad para reducir e inhibir el crecimiento de patógenos, como *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus*, *Staphylococcus aureus* y *Listeria monocytogenes* (Lopes y col., 2023).

La descomposición de la mayoría de los alimentos frescos se debe a la interacción con factores externos como la humedad; por lo que



es importante que los empaques cuenten con barrera de humedad y de esta forma los alimentos conserven sus propiedades y se mantengan fisicoquímicamente más estables. Los materiales compuestos por polisacáridos tienen la característica de interactuar con la humedad del ambiente, ya sea absorbiendo o liberando agua, hasta alcanzar un estado de equilibrio en su contenido de humedad. Este punto de equilibrio no es constante, sino que varía en función de la temperatura y la humedad relativa del entorno. En el caso específico de las frutas y hortalizas, es importante entender que su actividad biológica no cesa en el momento de la cosecha. Por el contrario, estos productos continúan con sus procesos metabólicos incluso después de ser recolectados. Una consecuencia directa de esta actividad biológica persistente es la pérdida continua de agua y solutos hacia el ambiente que los rodea (Ncama y col., 2018).

Las biopelículas son recubrimientos que actúan como una barrera protectora y reguladora. Estos recubrimientos crean una capa semipermeable alrededor del producto que permite un intercambio controlado de humedad y gases con el entorno. Una de las ventajas clave de estos recubrimientos es su capacidad para prevenir condiciones anaeróbicas, que podrían acelerar el deterioro del producto (Farina y col., 2020).

Además de controlar la composición gaseosa interna, los recubrimientos ofrecen otros beneficios importantes. Ayudan a prevenir el pardeamiento oxidativo, un proceso que puede afectar negativamente la apariencia y calidad del producto. También juegan un papel fundamental en el control de la maduración, retrasando este proceso y extendiendo así la vida útil del producto. Otro aspecto crucial es su capacidad para modular la tasa respiratoria del producto, lo que contribuye a mantener su



frescura por más tiempo (Farina y col., 2020).

3. BIOCOMPATIBILIDAD Y SEGURIDAD

ALIMENTARIA

Dentro de las características más relevantes de las biopelículas y por lo general en los biopolímeros es la biocompatibilidad que, como se mencionó anteriormente, son más afines a matrices biológicas o en su caso ampliaciones biomédicas o en el recubrimiento de alimentos. Sin embargo, es necesario establecer hasta qué punto, las biopelículas son seguras para ser aplicadas en el recubrimiento de alimentos.

Si bien el valor comercial de estos polímeros está en ascenso debido a sus características de biocompatibilidad y biodegradabilidad, el proceso de biodegradación suele ser facilitado por enzimas, involucrando mecanismos de hidrólisis y oxidación. En campos como la ingeniería de tejidos, los implantes ortopédicos y la ingeniería de andamios celulares, estos biopolímeros juegan un papel crucial. Su degradación produce ácidos y otros elementos que el organismo animal puede procesar o expulsar eficientemente. Además, una ventaja significativa es la facilidad con la que se pueden ajustar sus propiedades mecánicas, químicas y térmicas durante los procesos de extracción, síntesis o modificación (Shimpi, 2017).

El recubrimiento de alimentos con biopelículas se ha innovado en múltiples áreas de estudio de entre las que sobresale la adición de



agentes antimicrobianos, de esta forma los alimentos se conservan mejor y su vida de anaquel se extiende; los compuestos con propiedades antimicrobianas se incorporan de manera directa en el material utilizado para el empaque. Este agente se va liberando gradualmente a lo largo del tiempo, lo cual contribuye a preservar tanto la calidad como la inocuidad del producto. Como resultado, se logra extender significativamente el periodo durante el cual el alimento se mantiene en condiciones óptimas para su consumo (Malhotra y col., 2015).

Pranoto y col. (2004) desarrollaron recubrimientos comestibles combinando quitosano con aceite de ajo. A esta mezcla se le añadió sorbato de potasio, un conservante alimentario común, junto con diferentes cantidades de nisina (un bactericida). Estas películas demostraron ser eficaces en su acción antimicrobiana contra diversos patógenos, incluyendo *Bacillus cereus*, *E. coli*, *Salmonella typhimurium*, *Staphylococcus aureus* y *L. monocytogenes*. Es importante señalar que la incorporación del aceite de ajo en estas preparaciones se recomienda únicamente para aquellos alimentos donde su sabor característico no suponga un inconveniente (Pranoto y col., 2004).

En 2004 Burt reportó que el uso de aceites esenciales como agentes antimicrobianos han mostrado una discrepancia significativa entre los resultados de laboratorio y las aplicaciones prácticas en alimentos, particularmente en productos lácteos como la leche y el queso. En estos últimos, se requieren concentraciones notablemente más elevadas de aceites esenciales para lograr el mismo efecto antimicrobiano observado en condiciones de laboratorio.

Se descubrió que las películas comestibles pueden actuar como



vehículos para compuestos activos, incluyendo agentes antimicrobianos, antioxidantes y agentes que mejoran la textura (Acevedo-Fani y col., 2015). Cheng y colaboradores elaboraron películas comestibles utilizando zeína y quitosano como materiales principales, y se añadieron compuestos fenólicos (como ácido ferúlico o ácido gálico) y ácidos dicarboxílicos (como ácido adípico o ácido succínico). Estas películas compuestas mostraron una mayor eficacia como barrera contra el vapor de agua y presentaron mejores propiedades mecánicas. Además, el porcentaje de recuperación de compuestos fenólicos en las películas compuestas fue del 71 al 84 % (Cheng y col., 2015).

Es de suma importancia que los compuestos utilizados en los recubrimientos de alimentos sean biodegradables y biocompatibles; ya que el objetivo de las biopelículas es que pueden estar en contacto con los alimentos, pero que al momento de desecharlos se pueden degradar de forma rápida y sin dañar el ambiente, o que su impacto sea el mínimo. En la actualidad, la caracterización de los materiales es una de las herramientas más importantes para conocer sus propiedades y con base en ello diseñar nuevos productos de mayor resistencia y de menor impacto ambiental. Recientemente, se ha investigado el potencial uso de gomas derivadas de polisacáridos como promotores de películas comestibles, gracias a sus propiedades sostenibles, biodegradables y biocompatibles (Mellinas y col., 2015).

Seyed y col., reportaron películas comestibles utilizando la goma extraída de las semillas de la planta *Salvia macrosiphon*. Dichas películas tenían mayor grosor y flexibilidad, además de un contenido de humedad más elevado. También mostraron una mayor capacidad de absorción y una reducción en la tendencia a adsorber agua en su superficie con características mejoradas



(Razavi y col., 2015).

4. DESAFÍOS ACTUALES Y APLICACIONES

Como ya se mencionó anteriormente, las biopelículas utilizadas para el recubrimiento de alimentos se posicionan como una de las alternativas sustentables y amigables con el planeta, ya que ayudarían a reducir el consumo de polímeros sintéticos de un solo uso. Además, las biopelículas contribuyen a la conservación de alimentos; manteniendo su forma y textura en el caso de las frutas y verduras; también a retardar su descomposición y generación de malos olores por bacterias o microorganismos patógenos, como es el caso de la carne.

Sin embargo, a pesar de que es una excelente alternativa, aún no se ha logrado remplazar a los plásticos convencionales. La producción de estos materiales biodegradables presenta ciertos inconvenientes. Por un lado, muchos profesionales en la industria carecen del conocimiento técnico necesario para su fabricación. Muchos biopolímeros son extraídos a partir de desechos agroindustriales, por lo que sus prospectos de extracción son más costosos que la obtención de polímeros sintéticos. Existe la posibilidad de que se produzca un incremento en el precio del producto final (EcoInventos, 2023).

Esto no quiere decir que hoy en día no se utilicen estos materiales, si no que se requiere de un conocimiento concreto acerca de las propiedades y formas de obtención. En la actualidad existen diferentes compañías que ofrecen alternativas al plástico para el



CienciAcierta

envasado de alimentos.

Por ejemplo, la compañía estadounidense Apeel Sciences, desarrolla recubrimientos comestibles para frutas y verduras (ver Figura 2). El objetivo es crear alternativas confiables y ecológicas que mejoren la durabilidad y preserven la calidad de los alimentos frescos. Por lo que no solo los hace más atractivos y fáciles de obtener para los compradores, sino que también contribuye a disminuir el despilfarro de comida a nivel global, que tiene como propósito el eliminar la falta de seguridad alimentaria entre los grupos más vulnerables, así como brindar alternativas para preservar el medio ambiente para las futuras generaciones (Freshness That Won't Go to Waste, n.d.).



Figura 2. A) Reporte de impacto sustentable por parte de la empresa Apeel Sciences; B) Ejemplo de la preservación de alimentos por la implementación de biopelículas comestibles como recubrimiento, (*Sustainability Impact | APEEL | Food Gone Good*, s. f.).

Otra de las empresas a mencionar es Lactips, una empresa francesa que desarrolla películas solubles en agua a base de proteínas de leche. La tecnología de Lactips se desarrolló en un laboratorio de ingeniería de materiales poliméricos; la investigación fue dirigida por Frédéric Prochazka. La característica

fundamental del material Lactips es su capacidad de disolverse. Su composición especial permite que se disuelva en agua, sin importar si ésta está caliente o fría. Múltiples experimentos han confirmado que al disolverse no deja ningún residuo, lo que lo convierte en una opción ideal para diversos usos, como, por ejemplo, en la fabricación de envases para productos de limpieza. Si bien no está registrado como un material plástico, poseen las características de uno. La elaboración de estos materiales se lleva a cabo mediante proteínas animales llamadas caseínas (Lactips, 2022).

Notpla es una empresa británica que crea envolturas comestibles hechas de algas marinas; esta empresa tiene como objetivo reemplazar a los empaques plásticos y resolver las problemáticas de contaminación actuales. El uso de algas marinas es una alternativa sustentable y sostenible debido a su rápida regeneración en los denominados bosques marinos (Notpla, 2024)

Los polímeros biodegradables son apreciados por su capacidad de descomponerse rápidamente en ambientes naturales como la tierra o los océanos. Sin embargo, este proceso de biodegradación es más complejo de lo que parece a primera vista. Por una parte, las condiciones ambientales como la temperatura y la humedad influyen significativamente en la velocidad de degradación. Pero más allá de estos factores externos, las características propias del polímero juegan un papel crucial en su descomposición (Meereboer y col., 2020).

5. CONCLUSIONES

El análisis de la información demuestra que los recubrimientos alimentarios elaborados con biopelículas de origen vegetal representan una solución efectiva y ambientalmente responsable para la conservación de alimentos. Esta alternativa no solo cumple con los requisitos de protección del producto, sino que también responde a la creciente demanda de materiales sostenibles en la industria alimentaria. Las investigaciones revisadas demuestran que las biopelículas poseen características que mejoran la conservación de los alimentos, sin embargo, tiene otras funcionalidades como la capacidad de actuar como barreras contra la humedad, el oxígeno y limitan la proliferación de microorganismos; manteniendo así los alimentos frescos por más tiempo.

Además, se muestra la importancia de que estas biopelículas presenten las propiedades de biodegradabilidad y biocompatibilidad y de que, por otro lado, sean seguras para que puedan ser utilizadas en recubrimiento de alimentos.

Por otra parte, las aplicaciones comerciales actuales, demuestran que estas biopelículas son funcionales y efectivas fuera de ambientes controlados como los laboratorios. Es muy importante que se siga realizando el desarrollo y optimización de estas biopelículas ya que representan un paso significativo hacia prácticas más sostenibles en la industria alimentaria, alineándose con las tendencias globales de reducción de residuos y mejora de la seguridad alimentaria.

AGRADECIMIENTOS

La autora Martínez-Castillo L.P. agradece a los demás autores por sus observaciones y sugerencias para consolidar este trabajo. Un reconocimiento a la Dra. Aidé Sáenz Galindo, que fue la guía para el desarrollo de este trabajo y siempre otorgó el espacio para aclarar dudas. Agradece también a la Facultad de Ciencias Químicas y a la Universidad Autónoma de Coahuila por proporcionar un entorno académico que fomenta el aprendizaje y la investigación.

REFERENCIAS

- Acevedo-Fani, A., Salvia-Trujillo, L., Rojas-Graü, M. A., & Martín-Belloso, O. (2015). Edible films from essential-oil-loaded nanoemulsions: Physicochemical characterization and antimicrobial properties. *Food Hydrocolloids*, 47: 168-177. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.01.032>
- Alfa Editores. (2017, 12 febrero). *Caparazón de langosta como biopelícula alarga vida de alimentos*. Recuperado (21, Oct, 2024) <https://www.alfa-editores.com.mx/caparazon-de-langosta-como-biopelicula-alarga-vida-de-alimentos/>
- Apeel (22 Octubre, 2024). *How apeel works* <https://www.apeel.com/>
- APEEL (25 October 2024) *Food Gone Good*. <https://www.apeel.com/impact>
- Burt, S. (2004). Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods a review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3): 223-253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Basurto-Flores, N., & Medina-Guerrero, N. (2023). Evaluación técnico-económica

del uso de biopolímeros para el tratamiento de aguas residuales de curtiembres. *Revista de Ciencias Ambientales*, 57(2), 1-25. <https://doi.org/10.15359/rca.57-2.2>

Cheng, S., Wang, B., & Weng, Y. (2015). Antioxidant and antimicrobial edible zein/chitosan composite films fabricated by incorporation of phenolic compounds and dicarboxylic acids. *LWT*, 63(1): 115-121. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.030>

Chediek, J. da S. R. G., & Muliterno, T. (2023). La contaminación por plásticos en el mar: notas sobre la regulación jurídica internacional, europea y española. *Revista de derecho*, 28(3079). <https://doi.org/10.22235/rd28.3079>

EcoInventos, R. (23 November 2023). *Bioplásticos: La única Alternativa Para El Futuro*. <https://ecoinventos.com/bioplasticos>

Eum, H. L., Hwang, D. K., Linke, M., Lee, S. K., & Zude, M. (2009). Influence of edible coating on quality of plum (*Prunus salicina* Lindl. cv. 'Sapphire'). *European Food Research and Technology*, 229: 427-434. <https://doi.org/10.1007/s00217-009-1054-8>

Farina, V., Passafiume, R., Tinebra, I., Scuderi, D., Saletta, F., Gugliuzza, G., Gallotta, A., &

Gupta, D., Lall, A., Kumar, S., Patil, T. D., & Gaikwad, K. K. (2024). Plant-based edible films and coatings for food-packaging applications: recent advances, applications, and trends. *Sustainable Food Technology*. <https://doi.org/10.1039/d4fb00110a>

Lema Vera, E., Manzo Escobar, N., Baque Mite, L., & Moreira Menéndez, M. (2020). Bioplásticos a partir de residuos del cacao, una alternativa para mitigar la contaminación por plástico. *Ingeniería E Innovación*, 9(1): 6-11

Lopes, A. I., Melo, A., Caleja, C., Pereira, E., Finimundy, T. C., Afonso, T. B., Silva, S., Ivanov,

López-Aguirre, JF, Pomaquero-Yuquilema, JC, & López-Salazar, JL (2020). Análisis de la contaminación ambiental por plásticos en la ciudad de



Riobamba. *Polo del conocimiento*, 12: 725-742.

Lactips. (11 Mayo 2022). *Lactips - A unique technology in the industrial market*.
<https://www.lactips.com/>

Malhotra, B., Keshwani, A., & Kharkwal, H. (2015). Antimicrobial food packaging: potential and pitfalls. *Frontiers In Microbiology*, 6: 18-24
<https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00611>

Meereboer, K. W., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2020). Review of recent advances in the biodegradability of polyhydroxyalkanoate (PHA) bioplastics and their composites. *Green Chemistry*, 22(17): 5519-5558.
<https://doi.org/10.1039/d0gc01647k>

Mellinas, C., Valdés, A., Ramos, M., Burgos, N., Del Carmen Garrigós, M., & Jiménez, A. (2015). Active edible films: Current state and future trends. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(2): 9-15.
<https://doi.org/10.1002/app.42631>

Ncama, K., Magwaza, L. S., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2018). Plant-based edible coatings for managing postharvest quality of fresh horticultural produce: A review. *Food Packaging And Shelf Life*, 16: 157-167.
<https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.03.011>

Notpla (25 October 2024). *Embalaje que desaparece de Notpla*.
<https://www.notpla.com/>

Olmos, D., & González-Benito, J. (2021). Polymeric materials with antibacterial activity: A review. *Polymers*, 13(4), 613.
<https://doi.org/10.3390/polym13040613>

Pranoto, Y., Rakshit, S., & Salokhe, V. (2004). Enhancing antimicrobial activity of chitosan films by incorporating garlic oil, potassium sorbate and nisin. *LWT*, 38(8): 859-865. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2004.09.014>

Razavi, S. M. A., Amini, A. M., & Zahedi, Y. (2015). Characterisation of a new biodegradable edible film based on sage seed gum: Influence of plasticiser type and concentration. *Food Hydrocolloids*, 43:290-298.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.05.028>



CienciAcierta

Shimpi, N. G. (Ed.). (2017). *Biodegradable and biocompatible polymer composites: Processing, properties and applications*. Woodhead Publishing. idioma <https://doi.org/10.1016/C2015-0-05524-1>

Vázquez-Briones, M. C., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2013). Recubrimientos de frutas con biopelículas. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2): 5-14.
https://www.academia.edu/34339497/Recubrimientos_de_frutas_con_biopel%C3%ADculas



CienciAcierta

FLOTACIÓN INVERSA Y RECUPERACIÓN DE ÓXIDOS METÁLICOS, UN ENFOQUE INTEGRAL

REVERSE FLOTATION AND RECOVERY OF METAL OXIDES, A COMPREHENSIVE APPROACH

RESUMEN

La flotación inversa de minerales es un proceso clave en la industria minera para la concentración de minerales valiosos, donde el objetivo es separar eficientemente los minerales no deseados (silicatos, arcillas, óxidos de hierro, etc.) del mineral de interés. A diferencia de la flotación directa, en la cual el mineral valioso flota y se recupera, en la flotación inversa los minerales no deseados son los que flotan y se eliminan en la espuma, los valiosos permanecen en la pulpa y se recuperan posteriormente. El proceso se basa en la diferencia de propiedades superficiales de las partículas, específicamente su hidrofobicidad (tendencia a repeler el agua) o hidrofiliidad (afinidad por el agua). Para llevar a cabo la separación se utilizan reactivos químicos como los colectores, que se adsorben selectivamente en la superficie de los minerales de ganga, volviéndolos hidrofóbicos. Este proceso ha cobrado relevancia por la creciente demanda de soluciones sostenibles y reutilización de residuos industriales. Ha demostrado ser una técnica efectiva, en especial para la concentración de minerales metálicos como hierro, aluminio y calcio. Este artículo presenta una revisión detallada del proceso de flotación inversa, su mecanismo y las aplicaciones industriales, con especial énfasis

MARVIN SEBASTIÁN CASTRO
ZÚÑIGA¹

SERGIO ENRIQUE FLORES
VILLASEÑOR¹

CRISEIDA RUIZ AGUILAR²

MARIO RODRÍGUEZ REYES³

1. Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.

2. UNAM, Campus
Juriquilla.

3. Tecnológico Nacional de
México, Campus Saltillo.

Correspondencia
sergiovillasenor@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-0654-0046>



CienciAcierta

en la recuperación de óxidos metálicos. Se discuten las mejoras recientes en la selectividad de los reactivos utilizados y los avances en la recuperación de óxidos metálicos a partir de los residuos del proceso, lo que permite un enfoque más sostenible para la minería y metalurgia moderna.

Fecha de recepción
19 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
19 de febrero de 2025.

Palabras clave: flotación inversa; hidrofobicidad; recuperación; metalurgia.

ABSTRACT

Reverse flotation of minerals is a key process in the mining industry for the concentration of valuable minerals, where the objective is to efficiently separate unwanted gangue minerals (such as silicates, clays, iron oxides and others) from the mineral of interest. Unlike direct flotation, in which the valuable mineral is the one that floats and is recovered, in reverse flotation the behavior is the opposite: the unwanted minerals are the ones that float and are removed in the froth, while the valuable minerals remain in the pulp and are subsequently recovered. This process is based on the difference in surface properties of the particles, specifically their hydrophobicity (tendency to repel water) or hydrophilicity (affinity for water). To carry out the separation, chemical reagents such as collectors are used, which are selectively adsorbed on the surface of the gangue minerals, making them hydrophobic. This process has gained relevance due to the growing demand for sustainable solutions and the reuse of industrial waste. Reverse flotation has proven to be an effective technique for separating valuable minerals from gangue, especially for the concentration of metallic minerals such as iron, aluminum and calcium. This article presents a detailed review of the reverse flotation process, its mechanism and industrial applications, with a special



CienciAcierta

emphasis on the recovery of metal oxides. Both recent improvements in the selectivity of the reagents used and advances in the recovery of metal oxides from the process residues are discussed, allowing a more sustainable approach to modern mining and metallurgy.

Keywords: *reverse flotation; hydrophobicity; recovery; metallurgy.*

INTRODUCCIÓN

La flotación es un proceso fisicoquímico ampliamente utilizado en la industria minera para la separación y concentración de minerales, basado en las diferencias de hidrofobicidad de las partículas. Este método es eficaz para separar minerales valiosos de la ganga, mediante la introducción de burbujas de aire en una pulpa mineral, donde los minerales hidrofóbicos se adhieren a las burbujas y flotan a la superficie, formando una espuma que es posteriormente eliminada. Por su versatilidad y eficiencia, la flotación es uno de los métodos más importantes en el procesamiento de minerales, aplicado tanto a minerales sulfurados, óxidos, sales y otros tipos. Existen dos tipos principales de flotación: flotación directa **y** flotación inversa. En la flotación directa, el objetivo es hacer que los minerales valiosos floten, mientras que en la flotación inversa el objetivo es diferente: se busca que los minerales de ganga sean los que floten, mientras que el mineral valioso permanece en la pulpa (Baker, 2002). En la Figura 1 se muestra lo anteriormente mencionado.



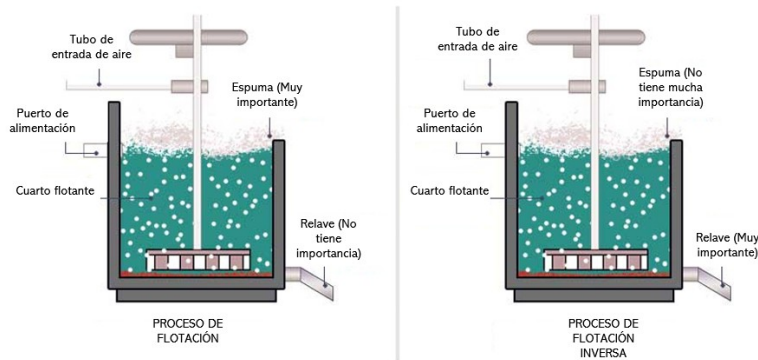


Figura 1. Diferencia entre el proceso de flotación y flotación inversa.
(Traducido de: Ftmmachinery.com)

Este enfoque inverso es especialmente útil cuando los minerales valiosos tienen características hidrofílicas o cuando es más fácil modificar la superficie de la ganga para hacerla hidrofóbica. En el caso de la flotación inversa, se emplean reactivos específicos como colectores para las partículas de ganga, que las hacen hidrofóbicas, mientras que se utilizan depresores para mantener el mineral valioso en estado hidrofílico. Esto permite que los minerales no deseados floten junto con las burbujas de aire introducidas, facilitando su eliminación en la espuma y dejando el mineral valioso en la pulpa para su recuperación posterior. Este proceso es ampliamente utilizado en la concentración de minerales de hierro, donde la separación de la sílice u otros minerales de ganga es crítica (Ipinza, 2017).

EXPOSICIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para la creación de este artículo de revisión, se utilizaron diferentes bases de datos: Litmaps (app.litmaps.com), la cual se usó para crear un esquema cronológico de artículos relacionados al tema, así como también, el Google Scholar (scholar.google.com), Google

académico y Research Gate (researchgate.net) para la búsqueda de artículos científicos y de divulgación referentes al tema principal. En relación con las patentes, se utilizó la base de datos WIPO (patentscope.wipo.int) y US PATENT (uspto.gov), las cuales fueron de gran ayuda para la elaboración de las Tablas 1 y 2.

1. FLOTACIÓN INVERSA

1.1 Principios generales

La flotación inversa se basa en la modificación de las propiedades de mojabilidad de los minerales mediante reactivos llamados colectores. Estos compuestos, generalmente aminas o ácidos grasos, se adhieren selectivamente a las partículas de ganga (como sílice o fosfatos), haciéndolas hidrofóbicas. Al incorporar aire en el sistema, estas partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas de aire y flotan, mientras que los minerales metálicos, que permanecen hidrofílicos, se hunden. La flotación inversa se basa en los principios de la diferencia de hidrofobicidad entre las partículas minerales y el uso selectivo de reactivos químicos. En este proceso, los minerales de ganga, que usualmente son más difíciles de concentrar mediante otros métodos, son inducidos a flotar mediante la adsorción de colectores, que los vuelven hidrofóbicos, permitiendo que se adhieran a las burbujas de aire introducidas en la pulpa. Al mismo tiempo, los depresores se utilizan para mantener los minerales valiosos en su estado natural hidrofílico, evitando que floten y permaneciendo en la pulpa. De este modo, los minerales de ganga flotan y son retirados en la espuma, mientras que el mineral valioso se recupera en el fondo del tanque (Wills, 2016). El proceso anteriormente mencionado se



ilustra en la Figura 2.

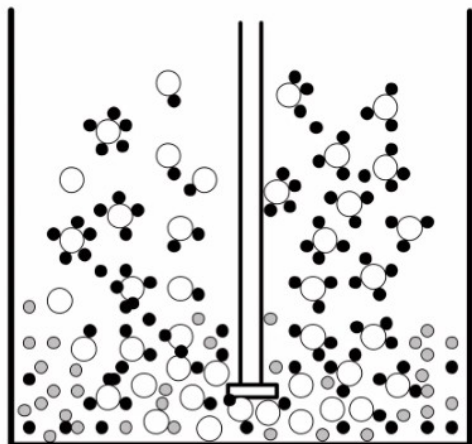


Figura 2. Representación del proceso de flotación (Quispe, 2019)

1.2 Selectividad de los reactivos

Uno de los principales retos en la flotación inversa es la selectividad de los reactivos, la capacidad de estos para distinguir entre los minerales valiosos y las impurezas. Los reactivos tradicionales, como las aminas y ácidos grasos, han sido ampliamente utilizados para la flotación inversa de sílice en minerales de hierro. Sin embargo, las nuevas investigaciones se han enfocado en el desarrollo de reactivos ecológicos, como las poliaminas modificadas y biopolímeros, que no solo aumentan la eficiencia de separación, sino que también reducen el impacto ambiental de los procesos (Gül, 2004).

1.3 Reactivos en la flotación inversa

Los colectores son uno de los principales reactivos utilizados para hacer que los minerales no deseados, como silicatos o impurezas, se vuelvan hidrofóbicos y floten (Rondinelli, 2009). Entre los

colectores más utilizados están las aminas, especialmente en la flotación inversa de minerales de hierro, y los ácidos grasos en el caso de minerales no metálicos. Los depresores, como la goma guar o los silicatos de sodio, se emplean para evitar que los minerales valiosos floten, permitiendo que queden en la pulpa. Los modificadores de pH, como el hidróxido de sodio o el ácido sulfúrico, también son esenciales para ajustar el pH y crear condiciones óptimas para la selectividad de los reactivos (Marques, 2011). Por último, los espumantes, como los alcoholes y poliglicoles, controlan la estabilidad y el tamaño de las burbujas, garantizando un entorno adecuado para que ocurra la flotación (Filippov, 2014). Sin embargo, la calidad decreciente de los minerales ha motivado la investigación de nuevos reactivos más selectivos y menos contaminantes. Se han probado reactivos como las aminas cuaternarias y otros polímeros modificados, que ofrecen ventajas en cuanto a rendimiento y sostenibilidad (Khan, 2018). Lo descrito anteriormente se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Reactivos utilizados en la flotación inversa.

| Tipo de Reactivo | Reactivo | Función | Minerales Tratados |
|-------------------|---|---|--|
| Colector | Aminas (Cloruro de dodecilamina, Éteramina) | Hace hidrofóbicos los silicatos y óxidos de ganga. | Ganga (sílice, silicatos, arcillas) (Beneduci, 2019) |
| Colector | Ácidos grasos (Ácido oleico) | Hace hidrofóbicos los carbonatos y fosfatos. | Carbonatos, fosfatos (Loveday, 2006) |
| Depresor | Almidón | Evita la flotación de óxidos de hierro. | Hematita, magnetita (Da Rosa, 2019) |
| Depresor | Silicato de sodio (agua de vidrio) | Dispersa y deprime silicatos no deseados. | Minerales de ganga (silicatos, óxidos) |
| Modificador de pH | Hidróxido de sodio (NaOH) | Controla el pH para optimizar la adsorción de reactivos. | Flotación de minerales metálicos (Álvarez, 2000) |
| Modificador de pH | Cal (CaO) | Aumenta el pH y precipita impurezas, mejorando la selectividad. | Minerales sulfurados, óxidos (Valenzuela, 2005) |



| | | | |
|-----------|------------------|--|---|
| Espumante | Alcoholes (MIBC) | Estabiliza la espuma para la remoción de minerales flotados. | Generalmente aplicado en flotación de ganga (Rubio, 2005) |
|-----------|------------------|--|---|

1.4 Tecnologías de aireación y control de burbuja

Los sistemas de inyección de aire actuales han mejorado el control sobre el tamaño y la distribución de las burbujas, lo cual es fundamental para una flotación efectiva. Las tecnologías más comunes para la aireación incluyen sistemas de inyectores o boquillas que generan burbujas finas, aumentando la superficie de contacto entre las partículas minerales y el aire. Además, las celdas de flotación convencionales suelen utilizar turbinas o agitadores para dispersar el aire en burbujas pequeñas y mantener las partículas en suspensión. En las columnas de flotación se emplean generadores de burbujas y sistemas de inyección de aire que producen burbujas muy finas, lo que mejora significativamente la separación. El tamaño de las burbujas es un factor crítico, ya que las burbujas más pequeñas proporcionan una mayor superficie de contacto, optimizando la adhesión de las partículas deseadas en la flotación inversa (Mankosa, 2015).

2. ANTECEDENTES

2.1 Flotación inversa a través del tiempo

Históricamente, la flotación ha sido utilizada desde principios del siglo XX, con la invención del proceso de flotación por espuma, el cual revolucionó la industria minera al permitir la concentración efectiva de minerales metálicos como cobre, plomo y zinc. Sin embargo, a medida que las reservas minerales de alta ley comenzaron a agotarse, los ingenieros y científicos enfrentaron el desafío de tratar depósitos más complejos y de baja ley, donde los



métodos tradicionales no lograban separar adecuadamente los minerales valiosos de la ganga (Al-Wakeel, 2009). En este contexto, la flotación inversa emergió como una alternativa para mejorar la eficiencia de los procesos de concentración.

2.2 Autores y sus aportaciones en la flotación inversa

Habashi menciona que la flotación inversa es una técnica utilizada en la separación de minerales, donde los minerales no deseados (gangas) se adhieren a las burbujas de aire y se extraen como espuma, mientras que los minerales valiosos permanecen en la pulpa.

Rao, por su parte, demuestra que el uso de flotación inversa mejora significativamente las propiedades de los materiales refractarios, siendo una herramienta clave en la purificación de estos minerales y mejorando su calidad para aplicaciones industriales.

Finalmente, se ha investigado la eficacia de los colectores en minerales de baja ley y revisado tanto la práctica industrial como la investigación fundamental en la flotación inversa. Estas investigaciones han mejorado el entendimiento y la eficiencia de la flotación inversa, particularmente en la separación de minerales en la industria del hierro (Houot, 1983).

2.3 Flotación inversa en México

La flotación inversa es una técnica utilizada en México para la separación de minerales, particularmente en la industria minera, donde es común en el procesamiento de minerales de hierro y fosfatos. En este proceso, los minerales de interés se mantienen en el concentrado mientras que las impurezas o minerales no



deseados, como el sílice, se eliminan a través de la espuma (López, 2004). A continuación se mencionan distintos autores mexicanos que han contribuido con el tema en cuestión:

Remoción de Azufre en un Concentrado de Magnetita Mediante Flotación Inversa de Luis Gerardo Molés Pérez (Universidad de Guanajuato). Este estudio aborda la flotación inversa aplicada en la industria del hierro para reducir las impurezas de azufre.

Reverse anionic flotation of quartz from Muro iron ore de José Luis Reyes Bahena, un investigador mexicano que ha contribuido en temas de flotación de minerales, incluyendo la flotación inversa.

Selective flotation of enargite from chalcopyrite by pulp potential control de Enrique Rubio Ruiz, un investigador que ha trabajado en el área de procesos de separación y concentración de minerales, donde la flotación inversa es un tema importante.

Tabla 2. Patentes relacionadas a la flotación inversa (Fuente: US PATENT).

| Nº de Patente | Año | Objetivo |
|---------------------|------|--|
| US Patent 9,566,590 | 2017 | Optimizar la flotación inversa para separar silicatos de minerales de hierro utilizando aminas y diaminas, minimizando la pérdida de hierro. |
| Patent 2696985B1 | 2018 | Mejorar la selectividad en la flotación inversa para la separación de silicatos mediante el uso de éter aminas en minerales de hierro. |
| US Patent US4652273 | 2015 | Describir el uso de éter aminas con diferentes longitudes de cadena para la separación de cuarzo de minerales de hierro mediante flotación. |



| | | |
|------------------------|------|--|
| US Patent 8,617,013 B2 | 2017 | Optimizar el proceso de flotación inversa de hematita utilizando reactivos que favorecen la flotación de gangas, dejando el mineral deseado. |
| EP2696985B1 | 2018 | Proporcionar un proceso de flotación inversa para el enriquecimiento de minerales de hierro con un alto contenido de sílice. |
| US Patent US9120128B2 | 2012 | Mejorar la flotación inversa usando alcoholes polihídricos miscibles en agua para beneficiar el mineral de hierro separando impurezas. |
| US20130075258A1 | 2017 | Separar metales valiosos de menas usando flotación inversa, específicamente hierro y sílice en mezclas de lodos. |
| US20100078372A1 | 2015 | Utilizar reactivos especiales en la flotación inversa para separar minerales valiosos de gangas en menas de hierro. |

3. APLICACIONES INDUSTRIALES DE LA FLOTACIÓN INVERSA

3.1 Beneficiación de minerales de hierro

Uno de los usos más extendidos de la flotación inversa es en la beneficiación de minerales de hierro, donde se busca reducir la concentración de sílice para obtener concentrados de hierro de alta pureza (Hernández-Linares, 2016). El proceso es fundamental para la producción de *pellets* de mineral de hierro, utilizados en la industria siderúrgica. En este contexto, el control de la flotación inversa permite optimizar el contenido de sílice en los *pellets*, mejorando su calidad y rendimiento en el proceso de reducción directa (Peng, 2012).

3.2 Flotación de fosfatos

Otra aplicación importante de la flotación inversa es en la industria de los fosfatos, donde se utiliza para separar el fosfato del carbonato de calcio y otras impurezas. El éxito de este proceso



CienciAcierta

depende en gran medida de la selectividad de los reactivos utilizados, ya que los minerales a separar presentan propiedades químicas muy similares. Se ha demostrado que el uso de colectores modificados mejora significativamente la eficiencia del proceso (Meyer, 2016).

4. RECUPERACIÓN DE ÓXIDOS METÁLICOS

4.1 Reutilización de residuos de flotación

Los residuos generados durante la flotación inversa suelen contener cantidades significativas de óxidos metálicos, como el óxido de aluminio (Al_2O_3) y el óxido de magnesio (MgO). Estos compuestos pueden ser recuperados y reutilizados en diferentes procesos industriales, incluyendo la producción de materiales cerámicos y la metalurgia de polvos. Esto es una estrategia eficiente y sostenible que busca maximizar la recuperación de minerales y reducir el impacto ambiental (Jiang, 2021).

4.2 Procesos de lixiviación y calcinación

La lixiviación de óxidos metálicos puede llevarse a cabo utilizando ácido sulfúrico o hidróxido de sodio como reactivos lixiviantes. En el caso del Al_2O_3 , la lixiviación en ácidos fuertes permite disolver el óxido de aluminio, que luego puede ser recuperado por precipitación o cristalización. Para el CaO , el tratamiento térmico (calcinación) de residuos que contienen carbonatos permite la conversión de estos compuestos en óxidos metálicos, que son altamente demandados en la industria de la construcción y siderúrgica (Habashi, 1999).



4.3 Métodos de recuperación

La recuperación de óxidos metálicos generalmente se lleva a cabo mediante procesos de lixiviación o calcinación. En la lixiviación, los residuos se disuelven en ácidos o bases fuertes, liberando los iones metálicos que luego son precipitados o recuperados por otros medios. Por ejemplo, el Al_2O_3 puede ser recuperado utilizando lixiviación en ácido sulfúrico, lo que permite su posterior reutilización en la producción de aluminio (Tang, 2024).

4.4 Reciclaje y reutilización de agua en la flotación

Un aspecto crítico de la sostenibilidad es el uso eficiente del agua en la flotación. Los avances en el reciclaje del agua dentro de las plantas de flotación han permitido reducir significativamente el consumo de agua fresca, un factor clave en las regiones donde este recurso es limitado (Liu, 2011). Además, la mejora en el tratamiento de aguas residuales, mediante la eliminación de reactivos y la recuperación de sólidos suspendidos, ha permitido que las plantas de procesamiento logren cumplir con estándares ambientales más estrictos (Rao, 1997).

4.5 Recuperación de Óxido de Aluminio (Al_2O_3)

La recuperación del óxido de aluminio (Al_2O_3) mediante flotación inversa es un proceso clave en la industria minera, especialmente para la purificación de minerales de bauxita, la principal fuente de aluminio. Este método se utiliza para separar el Al_2O_3 de impurezas como el sílice y el hierro, empleando colectores catiónicos o aniónicos que modifican las propiedades superficiales de las impurezas, permitiendo que estas floten mientras que los minerales de aluminio, como la gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$) o la bohemita (AlOOH), permanecen en el concentrado (França, 2004). Los



depresores, como el almidón, inhiben la flotación del óxido de aluminio para mejorar la selectividad del proceso. La flotación generalmente se lleva a cabo en un ambiente alcalino, con un pH entre 9 y 11, donde las impurezas se vuelven más hidrofóbicas y tienden a flotar, permitiendo la recuperación eficiente del Al_2O_3 . Investigaciones han demostrado la eficacia de este proceso en la separación de minerales de bauxita, resaltando la importancia del control de reactivos y el pH para optimizar la separación.

4.6 Recuperación de óxido de magnesio (MgO)

La recuperación del óxido de magnesio (MgO) mediante flotación inversa es un proceso esencial en la industria minera, especialmente para la purificación de minerales como la magnesita (MgCO_3). Este método se basa en la separación de MgO de impurezas como la sílice y el hierro, utilizando agentes colectores catiónicos o aniónicos que modifican la superficie de los minerales, favoreciendo la flotación de las impurezas y permitiendo que el MgO permanezca en el concentrado. Además, se emplean depresores como el almidón o la goma guar para inhibir la flotación del MgO y maximizar la eficiencia del proceso. El pH del sistema, que suele mantenerse en un rango alcalino (8-11), es clave para asegurar que las superficies de los minerales de magnesio sean hidrofílicas, lo que facilita la flotación de los minerales no deseados.

CONCLUSIONES

La flotación inversa es una técnica fundamental en el procesamiento de minerales, especialmente en la industria del



hierro, donde se emplea para la separación de minerales valiosos de la ganga (material no deseado). Su importancia radica en su capacidad para mejorar la pureza de los concentrados minerales, lo que resulta en productos de mayor calidad con menor contenido de impurezas, algo esencial para cumplir con las exigencias de las industrias metalúrgicas y siderúrgicas. En comparación con otros métodos de separación, la flotación inversa destaca por su eficiencia en la concentración de minerales con baja ley, lo que permite aprovechar recursos minerales que antes eran considerados económicamente inviables. Esto adquiere una relevancia especial en un contexto global donde la calidad de los yacimientos minerales está en declive, y la sostenibilidad se ha convertido en un factor crucial (Araujo, 2005).

En los próximos años, la flotación inversa seguirá desempeñando un papel clave en la industria minera, especialmente con el avance de nuevas tecnologías y reactivos que optimicen el proceso. La innovación en la formulación de reactivos, como colectores y depresores más selectivos y ambientalmente sostenibles, permitirá mejorar la eficiencia de la separación de minerales, reducir costos operativos y disminuir el impacto ambiental. Además, la automatización y la implementación de herramientas avanzadas de control de procesos harán que las operaciones de flotación sean más precisas y menos dependientes de factores externos, mejorando la estabilidad de las plantas y la consistencia de los resultados.

A medida que la demanda de minerales sigue en aumento, impulsada por sectores como la infraestructura, la energía y la tecnología, la flotación inversa se posicionará como una técnica indispensable para maximizar el aprovechamiento de los recursos naturales.



REFERENCIAS

- Álvarez-Amaya, M. G., Herrera Urbina, R., y De la Torre, E. (2000). Reverse flotation of quartz from phosphate using dodecylamine as collector. *Journal of Colloid and Interface Science*, 225(1): 278-283. <https://doi.org/10.1006/jcis.2000.6771>
- Al-Wakeel, M., Lin C., Miller J. (2009). Significance of liberation characteristics in the fatty acid flotation of Florida phosphate rock. *Minerals Engineering*, 22 (3): 244-253. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.07.011>
- Araujo, A. C., Viana, P. R. M., & Pérez, A. E. C. (2005). Reagents in iron ores flotation. *Minerals Engineering*, 18(2): 219-224. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.010>
- Araujo, A. C., Viana, P. R. M., & Peres, A. E. C. (2006). Comparative study on the reverse flotation of quartz from iron ore using anionic and cationic collectors. *Minerals Engineering*, 19(8): 780-785. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.014>
- Baker, R. (2002). Historical background and development of reverse flotation technology. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 23(2): 61-75.
- Beneduci A., Corrente G., Marino T., (2019). Insight on the chelation of aluminum (III) and iron (III) by curcumin in aqueous solution. *Journal of Molecular Liquid*, 296: 111805. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111805>.
- Da Rosa, J., Rubio J. (2005) The FF (flocculation-flotation) process. *Minerals Engineering*, 18 (7): 701-707. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.10.010>.
- Filippov, L. O., Severov, V. V., & Filippova, I. V. (2014). Mechanisms of ionic flotation and reverse ionic flotation of iron oxides. *Minerals Engineering*, 60: 69-76. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.02.013>



- França, S. C. A., & Peres, A. E. C. (2004). Flotation of silicates from ores with cationic collectors: Chemical and electrokinetic aspects. *Minerals Engineering*, 17(3): 457-466. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.12.005>
- FTM Machinery. (2023). *Flotation process of minerals*. Recuperado de <https://www.ftmmachinery.com/blog/flotation-process-of-minerals.html> Consultado el 4 de octubre de 2024
- Gül, A. (2004). Flotation behaviours of microlite and zircon. *Minerals Engineering*, 17 (4): 561-563. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2003.12.005>.
- Habashi, F. A. (1999). Textbook of Hydrometallurgy, *Métallurgie Extractive Québec*. Québec City, Canada 1993, second edition 1999
- Hernández-Linares, M., Soto-Castro, D., & Delgadillo, J. A. (2016). Recovery of magnesium oxide by reverse flotation from dolomitic phosphate ores. *Minerals Engineering*, 98: 123-130.
- Houot, R. (1983). Beneficiation of iron ore by flotation – Review of industrial practice and fundamental research. *International Journal of Mineral Processing*, 10(3): 183-204. [https://doi.org/10.1016/0301-7516\(83\)90038-6](https://doi.org/10.1016/0301-7516(83)90038-6)
- Ipinza Abarca, J. (2018). *Flotación inversa de arcillas iónicas*. Fostering Ingenieros. Recuperado de <https://fosteringenieros.com/wp-content/uploads/2023/01/DMH-Arcillas-Marzo-2018.pdf> Consultado el 28 de septiembre de 2024
- Jiang, H., Zhang, Y., Wang, C. (2021). A clean and efficient flotation towards recovery of hazardous polyvinyl chloride and polycarbonate microplastics through selective aluminum coating: Process, mechanism, and optimization. *Journal of Environmental Management*, 299: 113626. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113626>.
- Khan, A. M., y Choudhary, A. (2018). Reagents used in the reverse flotation process: A review. *Journal of Mining and Metallurgy, Section B: Metallurgy*, 54(2): 239-247.



- Liu, J., y Wang, J. (2011). Selectivity of flotation reagents and their effect on separation performance. *Minerals Engineering*, 24(8): 872-880.
- López, F. A., y Romero, R. (2004). Flotación inversa en la recuperación de minerales en México. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, 21(1): 45-52.
- Loveday, B., Hemphill, A. (2006). Optimisation of a multistage flotation plant using plant survey data. *Minerals Engineering*, 19 (6-8): 627-632. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2005.09.014>
- Machado, L. M., & Araújo, A. C. (2010). Application of two-stage reverse anionic flotation for the recovery of iron from complex ore. *Minerals Engineering*, 23(11-13): 877-881. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2010.06.007>
- Mankosa, M. J., y Moudgil, B. M. (2015). Bubble generation and behavior in flotation: A review. *Minerals Engineering*, 76: 60-75.
- Marques, M., Gontijo, C. (2011). Effects of surface modification on reverse flotation of iron ores. *International Journal of Mineral Processing*, 100(3-4): 179-183. <https://doi.org/10.1016/j.minpro.2011.06.010>
- Meyer, A., y Lutz, M. (2016). Industrial applications of reverse flotation. *Minerals Engineering*: 99: 112-121.
- Molés Pérez, L. G. (2020). Remoción de azufre en un concentrado de magnetita mediante flotación inversa. Universidad de Guanajuato.
- Peng, Y., Bradshaw, D. (2012). Mechanisms for the improved flotation of ultrafine pentlandite and its separation from lizardite in saline water. *Minerals Engineering*, 36-38: 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2012.05.015>
- Quispe, V. L. (2019). *Estudio del tratamiento y análisis en laboratorio de minerales de casiterita*. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
- Rao, K. H., & Forssberg, E. (1997). Selective flotation of silicates and iron oxides using anionic and cationic collectors. *International Journal of Mineral Processing*, 51(1-4): 157-168. [https://doi.org/10.1016/S0301-7516\(97\)00042-1](https://doi.org/10.1016/S0301-7516(97)00042-1)

- Reyes Bahena, J. L. (2011). Reverse anionic flotation of quartz from Muro iron ore. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Rondinelli, D. A., & Reis, J. A. (2009). Investigations on reverse flotation of quartz from iron ore. *Minerals Engineering*, 22(2): 120-125. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2008.07.011>
- Rubio, E., y González, I. (2005). Magnesite recovery by reverse flotation. *International Journal of Mineral Processing*, 76(1-2): 53-60.
- Rubio Ruiz, E. (2019). Selective flotation of enargite from chalcopyrite by pulp potential control. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- Tang, M., Wu, Y., Fu, J. (2024). Effects of $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ ions in recycled water on the reverse flotation properties of iron oxides. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, 60(3): 188465. <https://doi.org/10.37190/ppmp/188465>
- Valenzuela, F., Fonseca, C., Basualto, C. (2005). Removal of copper ions from a waste mine water by a liquid emulsion membrane method. *Minerals Engineering*, 18 (1): 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.05.011>
- Wills, A. (2016). *Wills' Mineral Processing Technology: An introduction to the practical aspects of ore treatment and mineral recovery* (8.a Ed.).

ANÁLISIS DE LA DETECCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS MEDIANTE ULTRALYTICS YOLOV8

ANALYSIS OF DETECTION AND IDENTIFICATION OF RESIDUES USING ULTRALYTICS YOLOV8

BYAN ALECK AGUILAR
RODRÍGUEZ

FERNANDO CLEMENTE
COVARRUBIAS VELÁZQUEZ

ALAN REFUGIO PÉREZ
CASILLAS

JOSUÉ GÓMEZ CASAS

CARLOS ALBERTO TORO
ARCILA

JESÚS SALVADOR GALINDO
VALDÉS

DANIELA ESTEFANÍA ORTIZ
RAMOS

Facultad de Ingeniería,
Unidad Saltillo, UAdeC.

Correspondencia
jogomez@uadec.edu.mx

RESUMEN

En México la generación de residuos sólidos es un desafío diario significativo, una proporción considerable de estos pertenecen a plásticos, cartón y latas de aluminio. Sin embargo, solo una pequeña parte de estos materiales se somete a reciclaje, mientras que el resto termina en vertederos o afecta a los ecosistemas. La presente investigación propone una metodología basada en redes neuronales convolucionales (CNNs) mediante el uso de YOLOV8 para la detección y segmentación de residuos sólidos como plásticos, cartón y latas en áreas naturales y urbanas. La investigación aborda las limitaciones de los métodos tradicionales de recolección y destaca la precisión de los modelos de visión por computadora en la identificación y clasificación de desechos, el modelo entrenado obtuvo precisiones de hasta 92.3 % en condiciones controladas y 40 % en entornos complejos con alta densidad de residuos, demostrando su eficiencia. La tecnología generada no solo mejora la cuantificación de desechos, sino que a su vez facilita la planificación de estrategias de remoción de estos, contribuyendo como una herramienta innovadora para la gestión ambiental en México.

Palabras clave: contaminación; redes neuronales



CienciAcierta

convolucionales; detección de residuos; visión por computadora; inteligencia artificial.

Fecha de recepción
17 de febrero de 2025.

Fecha de aceptación
4 de abril de 2025.

ABSTRACT

In Mexico, the generation of solid waste is a significant daily challenge, with a considerable proportion of it consisting of plastics, cardboard, and aluminum cans. However, only a small fraction of these materials undergo recycling, while the rest ends up in landfills or affects ecosystems. This study proposes a methodology based on Convolutional Neural Networks (CNNs), specifically utilizing YOLOv8, for the detection and segmentation of solid waste, including plastics, cardboard, and aluminum cans, in both natural and urban environments. The research addresses the limitations of conventional waste collection methods and underscores the precision of computer vision models in waste identification and classification. The trained model achieved accuracy rates of up to 92.3% under controlled conditions and 40% in complex environments with high waste density, demonstrating its effectiveness. The developed technology not only enhances waste quantification but also facilitates the strategic planning of waste removal, serving as an innovative tool for environmental management in Mexico.

Keywords: *pollution; convolutional neural networks; waste detection; computer vision; artificial intelligence.*



CienciAcierta

INTRODUCCIÓN

La gestión de residuos sólidos en entornos urbanos y naturales representa un desafío ambiental significativo. En México la acumulación de desechos, particularmente en arroyos y cuerpos de agua, ha generado severas consecuencias ecológicas (Jiménez y col, 2001). La generación diaria de residuos sólidos supera las 120 mil toneladas, de las cuales el 12 % son plásticos, 10 % corresponde a cartón y 5 % a latas de aluminio. A pesar de este volumen significativo, solo una pequeña fracción de estos residuos se recicla, el resto acaba en vertederos o en ecosistemas naturales. Mientras que los desechos orgánicos se degradan en semanas y el cartón en meses, los plásticos pueden persistir durante siglos, agravando la contaminación en ecosistemas frágiles (Segura y col., 2007). Productos de consumo masivo como plásticos, cartón y latas han invadido calles y cursos de agua debido a la limitada capacidad de los sistemas tradicionales de recolección, lo que deja espacios públicos expuestos a la contaminación.

Uno de los principales contaminantes es el tereftalato de polietileno (PET), cuya resistencia a la degradación le permite permanecer en el ambiente entre cien y mil años (Suasnavas Flores y col., 2017). Además, los microplásticos derivados de fibras y empaques han alcanzado niveles alarmantes en ecosistemas marinos y fluviales, con concentraciones de hasta 135 micropartículas por kilogramo de sedimento en playas mexicanas (Rivas y Garelli, 2021). Globalmente, se estima que 8 millones de toneladas de plástico llegan a los océanos anualmente,

transportadas principalmente por arroyos y canales urbanos (Singh y col., 2016).

Los métodos convencionales de recolección han demostrado ser insuficientes para abordar esta crisis, por lo que se requieren soluciones innovadoras. Un enfoque emergente es el uso de redes neuronales convolucionales (CNNs), capaces de procesar grandes volúmenes de imágenes satelitales o captadas por drones para detectar y clasificar residuos (Bening, 2022; Weinstein, 2017). Estas tecnologías permiten la identificación precisa de "puntos críticos" de contaminación, facilitando operativos de limpieza más eficientes. La aplicación de CNNs en la detección de residuos plásticos, cartón y latas en arroyos representa una herramienta tecnológica prometedora para la optimización de estrategias de intervención, contribuyendo así a la mejora de la calidad ambiental y la salud pública.

El procesamiento de imágenes ha evolucionado significativamente con los avances en inteligencia artificial (IA). La introducción de un nuevo orden vectorial en espacios cromáticos ha mejorado la segmentación de imágenes, reduciendo brillos y ruido, lo que optimiza la creación de bases de datos (Ortiz Zamora y col., 2002). Un etiquetado preciso es clave para la clasificación automática de imágenes y la efectividad de los modelos de procesamiento (Pérez-Careta y col., 2022).

La aplicación de redes neuronales para la detección y recolección de residuos ha demostrado su utilidad en entornos reales. Se han diseñado robots capaces de localizar botellas plásticas en playas, aunque la implementación en escenarios no controlados sigue siendo un desafío (Vázquez-Lucero y col., 2022). En 2023, nuevas arquitecturas lograron detectar basura en áreas urbanas, aunque



la proximidad al vehículo recolector generó errores, resaltando la necesidad de drones para mejorar la recolección (Frutos y col., 2023). Estudios recientes evidencian que los sistemas de detección requieren optimización cuando la cantidad de residuos aumenta (Loaiza Alejandro y col., 2024).

En 2024, la IA ha avanzado en gestión y reciclaje de residuos, con modelos como YOLOv8 enfocados en detección sin cuantificación (Yáñez & Benavides, 2024). Matlab ha alcanzado un 70 % de éxito en la identificación de botellas, aunque con baja sensibilidad. El uso de bases de datos preentrenadas mejora los resultados y facilita la adaptación de modelos en plataformas como Raspberry Pi para la clasificación de residuos (Urgilez-Jaramillo et al., 2024; Salina y col., 2024). A pesar de estos avances, persisten retos en implementación real y optimización de sistemas de detección, siendo crucial la concientización y la adecuada preparación de datos para mejorar su eficacia.

La detección de plásticos en visión por computadora abarca diversas metodologías, sensores y software que ofrecen configuraciones con resultados favorables. Un enfoque es el uso de ondas sonoras para generar imágenes mediante el rebote en objetos, facilitando la segmentación en fluidos densos como el mar (Singh & Valdenegro-Toro, 2021). Para aplicaciones que requieren alta precisión en espacios reducidos, se emplean configuraciones de múltiples cámaras que capturan datos en 2D y 3D, útiles en plantas recicladoras para el conteo de material sobrante (Gursch y col., 2024).

Los algoritmos basados en espacios de color permiten identificar plásticos según su tonalidad (Khonáah y col., 2019). Sin embargo, el poder computacional puede ser un obstáculo, por lo que



arquitecturas como U-Net, compatibles con plataformas de bajo consumo como Arduino, optimizan la detección en entornos remotos (Vázquez-Lucero y col., 2022).

La segmentación es esencial para refinar la silueta de objetos repetidos en múltiples instancias. Su uso en fotogramas de video mejora la precisión al ofrecer referencias consistentes (Perazzi y col., 2017; Wang y col., 2021). Redes bien entrenadas pueden clasificar una amplia variedad de objetos con alta precisión, incluso en imágenes densas (Chen y col., 2019). Este proyecto busca rapidez en la segmentación y versatilidad en diversas condiciones sin comprometer el rendimiento computacional. Para ello, se emplea YOLO, ampliamente utilizado en la detección de residuos (Loaiza Alejandro, 2024). En particular, se explora su octava versión, que permite segmentación avanzada, detallada en los siguientes apartados.

YOLO emplea una red neuronal para procesar imágenes a distintos niveles, identificando patrones con rapidez y precisión según su entrenamiento. Cada capa del modelo contribuye a la detección de características específicas, similar al funcionamiento de las neuronas biológicas, pero a mayor escala y con mayor sofisticación.

El reconocimiento de patrones ha avanzado significativamente gracias al aumento en la capacidad de cómputo y una mejor comprensión de sus mecanismos en seres humanos y animales (Basu y col., 2010). Las redes neuronales destacan en esta tarea por su resistencia a distorsiones, menor demanda de recursos y facilidad de entrenamiento (Hijazi y col., 2015).

El proceso de detección de un objeto divide la imagen en una



cuadrícula, donde cada celda evalúa la presencia de un objeto y asigna un nivel de confianza. Además, genera contornos delimitadores (*bounding boxes*), optimizando la localización y facilitando la identificación visual.

El algoritmo de detección de objetos se originó como una herramienta innovadora para la detección de objetos, destacándose por su rapidez y su capacidad para analizar imágenes de entrada en un único paso. Este enfoque, fiel a su nombre, logra procesar la información manteniendo un alto nivel de detalle en sus resultados. YOLO combina precisión y velocidad, posicionándose como una solución ideal para aplicaciones en tiempo real. Desarrollado inicialmente como un proyecto de código abierto, este algoritmo ha sido continuamente mejorado por una activa comunidad de desarrolladores, quienes han optimizado su rendimiento y ampliado sus funcionalidades en versiones posteriores. Es relevante comparar YOLOv8 con otros modelos de segmentación e identificación de objetos, como SSD y Mask R-CNN. SSD (Single Shot MultiBox Detector) se caracteriza por su capacidad de detección en tiempo real con menor precisión en la segmentación, mientras que Mask R-CNN proporciona contornos más detallados, aunque con mayor demanda computacional. YOLOv8 equilibra velocidad y precisión, ofreciendo un rendimiento adecuado para la detección de residuos en escenarios no estructurados. Esta comparación permite justificar la selección de YOLOv8 en la presente investigación.

En este trabajo se utilizó el algoritmo en su octava versión, esta decisión se fundamentó en su capacidad avanzada de segmentación, una característica crucial para la estimación precisa de la cantidad de desechos en diversos entornos. A diferencia de la simple detección de objetos, la segmentación no solo identifica la



presencia de un objeto, sino que delimita su silueta, permitiendo determinar la proporción del área afectada por desechos. El uso de redes neuronales en tareas de limpieza no es una innovación reciente; a nivel global, numerosos equipos han explorado la efectividad de los algoritmos de detección computarizada en aplicaciones similares. Sin embargo, el contexto en el que se implementa este algoritmo en particular resalta su capacidad para ofrecer una utilidad más allá de las zonas urbanizadas, donde la presencia de desechos es fácilmente identificable. En contraste, en áreas poco desarrolladas, particularmente aquellas cubiertas por vegetación, arena o rocas, el algoritmo enfrenta un desafío adicional, pues estos factores dificultan la detección. En México, persisten numerosas áreas con escaso desarrollo humano, pero con una considerable acumulación de residuos sólidos en carreteras, terrenos, arroyos, lagos y ríos. Esto complica la estimación de la presencia de desechos en extensas áreas mediante métodos convencionales, como la inspección visual o el uso de drones, los cuales pueden pasar por alto zonas afectadas.

El objetivo de este estudio es evaluar la detección de residuos sólidos (plástico, cartón y latas), mediante el uso de herramientas de visión por computadora como el algoritmo de detección de objetos avanzado, permite la identificación de estos debido a la vegetación, factores cromáticos y ambientes no estructurados como en el caso de arroyos.

MATERIALES Y MÉTODOS

El uso de redes neuronales convolucionales permite la detección y segmentación de plásticos, cartón y latas en arroyos y áreas circundantes. Este enfoque es ideal para entornos complejos, ya que las redes neuronales aprenden características relevantes de las imágenes, optimizando la identificación de residuos. A continuación, se describe la metodología utilizada en este proyecto.

Definición de parámetros y detección: Se establecen las clases a detectar (cartón, latas y plásticos), considerando sus características visuales para asegurar una base de datos diversa y representativa.

1. **Recolección de imágenes:** Se obtienen imágenes de bases de datos en línea y capturas manuales en Ciudad Universitaria y Boulevard Fundadores, aplicando técnicas de preprocesamiento para mejorar la variabilidad de los datos.
2. **Creación de base de datos:** Se adaptan los datos a la segmentación utilizando algoritmos como YOLOV8 y SAM (Segment Anything Meta AI), garantizando una detección precisa mediante la automatización de polígonos en las imágenes.
3. **Entrenamiento y validación:** Se entrena la red neuronal con diversas condiciones de los objetos y se valida su precisión con imágenes de prueba y ensayos en entornos controlados.
4. **Segmentación semántica:** Se desarrolla un algoritmo para calcular los píxeles ocupados por cada objeto y asignar su categoría, asegurando una identificación precisa.
5. **Implementación en campo:** Se prueba el modelo en escenarios reales mediante fotos, videos y streaming, evaluando su desempeño y ajustándolo para mejorar su eficacia y ampliar su aplicabilidad.



ENTRENAMIENTO DE LA RED

Para entrenar una red neuronal, es esencial definir su tarea específica. YOLOv8 ofrece funciones como detección, segmentación, clasificación y estimación de pose. En este proyecto, se elige la segmentación, ya que permite no solo detectar un objeto, sino también delimitar su silueta con precisión.

El entrenamiento en segmentación requiere datos que representen la forma completa del objeto, diferenciándose del enfoque de detección, que solo identifica su presencia y ubicación. Se emplean dos tipos de datos:

- Cuadros delimitadores: Utilizan recuadros con etiquetas para cada clase, especificando la ubicación del centro, altura y ancho del objeto, adecuados para detección.
- Polígonos: Formados por múltiples puntos que siguen el perímetro del objeto con detalle, esenciales para la segmentación semántica de formas complejas.

TRANSFORMACIÓN DE BASES DE DATOS

Para adaptar una base de datos de detección al formato de segmentación, es necesario modificar las etiquetas de las imágenes. Este proceso puede realizarse manualmente, aunque resulta laborioso, o mediante herramientas automatizadas.

YOLOv8 incluye opciones para facilitar esta conversión, recomendándose el uso de SAM (Segment Anything Model), un algoritmo que segmenta automáticamente los objetos en una imagen. Cuando se trabaja con bases de datos etiquetadas para detección, SAM ajusta su alcance para segmentar solo las clases correctas.



El uso de una versión pre-entrenada de YOLOv8 mejora la precisión, reduciendo errores en la segmentación manual. Este proceso se realiza en un editor de código como PyCharm, donde se importan las dependencias y el modelo SAM-L. Luego, se especifican las rutas de las imágenes y del modelo pre-entrenado. Tras la segmentación, se generan archivos con las coordenadas de los polígonos, obteniendo una base de datos actualizada en formato de segmentación.

PRUEBAS DE LAS BASES DE DATOS GENERADAS

La integración de herramientas como YOLO y Roboflow ha optimizado la creación de bases de datos, mejorando el etiquetado y la organización de los datos. Estas herramientas facilitan la revisión de segmentaciones y la corrección de errores, evitando fallos en la identificación de clases y reduciendo la carga de trabajo.

El uso de segmentación automática ahorra tiempo en comparación con el etiquetado manual. Ejemplos como la base de datos TrashCan (Hong, 2020), con 7,212 imágenes, requirieron 1,700 horas de trabajo manual, mientras que ZeroWaste (Bashkirova y col., 2022), con 4,661 imágenes, tomó un promedio de 12 minutos por imagen.

Un enfoque mixto, que combina segmentación automática con revisión manual, optimiza significativamente el tiempo. En un caso práctico, se procesaron 2 mil 500 imágenes en tres clases en solo 40 horas, evidenciando una mejora sustancial respecto a los métodos manuales.

CÁLCULO DEL NIVEL DE CONFIANZA

Para evaluar la precisión del modelo se comparan visualmente las predicciones con la imagen original. Sin embargo, YOLOv8 también proporciona una métrica cuantitativa basada en la confianza, la cual mide la certeza del modelo en sus detecciones.

La confianza se calcula mediante la ecuación:

$$\text{Confianza} = P(\text{obj}) \times \text{IoU}(1).$$

Donde:

- $P(\text{obj})$ es la probabilidad de que un objeto esté presente en la caja de detección.
- IoU (Intersección sobre Unión) cuantifica la superposición entre la caja predicha y la real (ground truth).

Esta métrica permite evaluar la certeza y precisión espacial del modelo, filtrando detecciones erróneas. Posteriormente, se analiza la clase del objeto detectado y se asigna un valor numérico a cada predicción, optimizando la identificación precisa dentro de la imagen.

FASE DE VALIDACIÓN DE LA RED NEURONAL

Durante la fase de validación se realizan pruebas iterativas para evaluar el desempeño del modelo y comparar bases de datos manuales con un enfoque híbrido. Este paso es clave para analizar la evolución de la confianza del algoritmo en un entorno con poco ruido.

En las primeras iteraciones los modelos entrenados con clases individuales mostraron baja confianza, debido a que los datos de



entrenamiento correspondían a condiciones ideales (buena iluminación, orientación y estado del residuo). Sin embargo, en entornos reales, los residuos presentan deformaciones, manchas y deterioro, afectando la precisión del modelo. Dado que las redes neuronales convolucionales aprenden exclusivamente de los datos proporcionados, es necesario ampliar la diversidad de instancias para

RESULTADOS

En esta investigación se compararon dos zonas geográficas para evaluar diferencias en la densidad cromática y la variabilidad de patrones del terreno, factores clave en la detección de residuos. La primera zona analizada fue en el Campus Arteaga de la Universidad Autónoma de Coahuila, ubicado en Blvd. Fundadores, km 13, Arteaga, Coahuila. Su baja densidad cromática facilita la identificación de residuos, ya que la escasa vegetación y el terreno árido permiten que plásticos, cartón y latas resalten en las imágenes, simplificando su análisis. En contraste, el Parque Hundido en Saltillo, Coahuila presenta una alta densidad cromática debido a su variada vegetación y diversidad de colores en el terreno. Esto dificulta la detección de residuos por la interferencia visual, pero también permite obtener información más detallada sobre su distribución, requiriendo un procesamiento más complejo.



Figura 1: a) imágenes de baja concentración de residuos; b) imágenes de alta concentración de residuos.

El modelo fue evaluado en dos escenarios: baja y alta densidad de residuos. En la Figura 1a se muestra un entorno con poca concentración de residuos, la segmentación alcanzó una precisión del 86 al 88 %, demostrando su efectividad en áreas urbanas con distribución uniforme y menor interferencia. En contraste, en la Figura 1b se presenta un escenario con alta densidad de residuos, el volumen y la irregularidad de los desechos dificultaron la segmentación. Aun así, el modelo mantuvo una precisión del 83 al 92.3 %, mostrando una alta confianza en la identificación de plásticos, incluso en condiciones más complejas.

MODELO DE RED NEURONAL CON TRES CLASES DE DETECCIÓN

El modelo YOLOV8 demuestra una gran capacidad de adaptación en la detección de plásticos, cartón y latas, operando con precisión tanto en entornos controlados como no controlados. Su rendimiento se mantiene estable frente a variaciones en iluminación, ángulos de cámara y elementos distractores. Utilizando mean Average Precision (mAP) como métrica principal, alcanza un promedio de precisión del 86 %. Además, realiza segmentaciones semánticas detalladas, permitiendo identificar y

clasificar residuos incluso cuando diferentes tipos coexisten en una misma escena.

Los resultados de la Figura 2 muestran que el modelo marca y etiqueta claramente los objetos, proporcionando predicciones consistentes y diferenciando con precisión los materiales reciclables, incluso cuando están agrupados, lo que representa un desafío común en la clasificación automática.



Figura 2. Imagen Segmentada para botellas y latas, Ciudad universitaria, Arteaga, Coahuila.

En la Figura 3 se muestra como YOLOv8 reentrenado identifica y segmenta residuos como botellas de PET y latas de aluminio en entornos no controlados, alcanzando precisiones entre 70 y 75 %. Su capacidad para detectar múltiples objetos, incluso con variaciones en textura y color, demuestra su eficacia en la clasificación de materiales en escenarios complejos. Estos resultados resaltan la fiabilidad del modelo, manteniendo predicciones consistentes a pesar de las condiciones no ideales del entorno.



Figura 3. Segmentación semántica de botellas, latas y cartón en escenarios con bajos índices cromáticos.



Figura 4. Segmentación de botellas, latas y cartón en el Parque Hundido de Saltillo, Coahuila, en escenarios con altos índices cromáticos.

La Figura 4 muestra como el YOLOv8 modificado logra una precisión del 92% en la segmentación de residuos de cartón, incluso en escenarios con ángulos variables y superficies irregulares. Su capacidad para adaptarse a diferentes condiciones y distinguir entre materiales similares demuestra su eficacia en la clasificación automatizada de desechos, consolidándolo como una herramienta robusta para este tipo de aplicaciones.

En áreas con alta densidad de datos, como el Parque Hundido en Saltillo, Coahuila, YOLOv8 modificado enfrenta desafíos debido a la distancia y variabilidad cromática del entorno. A pesar de estas dificultades, el modelo logra un 40 % de precisión en la detección de residuos. Si bien este valor es inferior al obtenido en entornos controlados, se encuentra dentro de los rangos reportados en estudios previos para escenarios no estructurados (Gursch y col.,

2024). Esto indica que el modelo presenta un desempeño funcional en condiciones visuales complejas, aunque con margen de mejora para aumentar su precisión.

DISCUSIÓN

En México los productos residuos sólidos están presentes en prácticamente todos los aspectos de la vida diaria, destacando por su alto nivel de consumo y desecho. El uso masivo de plásticos se refleja en la cifra de un millón 951 mil 785 kg de residuos plásticos generados diariamente, lo que coloca a México como un gran productor de estos materiales (Ocampo y col., 2019). A pesar de la creciente conciencia sobre los efectos contaminantes de los plásticos, cartón y productos de aluminio, la falta de herramientas para medir estos residuos en el medio ambiente sigue siendo un obstáculo significativo para una gestión efectiva y acciones concretas que mitiguen el impacto. En la visión por computadora, existen diversas alternativas y enfoques para llevar a cabo el proceso de detección de residuos sólidos. Estas tecnologías pueden mejorar la optimización, así como los procesos operativos, facilitando la recopilación de datos estadísticos. Dichos datos permiten tomar decisiones informadas que favorecen el diseño de políticas públicas en gestión de desechos. De este modo, la presente investigación se posiciona como una solución en un sector en expansión, respaldado por iniciativas gubernamentales orientadas a la reducción de residuos y la promoción del reciclaje.

CONCLUSIONES



CienciAcierta

El uso de redes neuronales convolucionales, específicamente YOLOv8, representa un avance significativo en la detección y segmentación de residuos sólidos como plásticos, cartón y latas en entornos urbanos y naturales. La implementación del modelo requirió la definición de parámetros de detección, recolección de imágenes, entrenamiento y validación, asegurando su precisión en distintos escenarios.

Los resultados muestran una precisión del 86 % en entornos controlados y hasta 92.3 % en zonas con alta concentración de residuos, aunque en áreas con alta variabilidad cromática, la precisión se reduce al 40 %, representando una oportunidad de mejora como trabajo a futuro de esta investigación. La combinación de Inteligencia Artificial y Visión por Computadora optimiza la planificación de estrategias de reciclaje y reducción del impacto ambiental. Como trabajo futuro, se plantea la integración de técnicas de cuantificación de residuos para estimar con mayor precisión la distribución y volumen de desechos, fortaleciendo las estrategias de gestión y mitigación en distintos entornos.

REFERENCIAS

- Bashkirova, D., Abdelfattah, M., Zhu, Z., Akl, J., Alladkani, F., Hu, P., y Saenko, K. (2022). Zerowaste dataset: Towards deformable object segmentation in cluttered scenes. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2022*: 21147–21157.
- Basu, J. K., Bhattacharyya, D. y Kim, T. H. (2010). Use of artificial neural network in pattern recognition. *International Journal of Software Engineering and Its Applications, 4*(2): 23–34.



- Bening, C. R., Kahlert, S. y Asiedu, E. (2022). The true cost of solving the plastic waste challenge in developing countries: The case of Ghana. *Journal of Cleaner Production*, 330: 129649. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129649>
- Chen, X., Girshick, R., He, K. y Dollár, P. (2019). Tensormask: A foundation for dense object segmentation. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2019*: 2061–2069.
- Gursch, H., Schlager, E., Thaler, F., Waltner, G., Ganster, H., Rinnhofer, A., Jaschik, M., Oberwinkler, C., Meisenbichler, R., Bischof, H., et al. (2024). Image capturing, segmentation and data analysis of shredded refuse streams. *Waste Management & Research*, 42(9): 738–746.
- Hijazi, S., Kumar, R. y Rowen, C. (2015). Using convolutional neural networks for image recognition. *Cadence Design Systems Inc.* <https://www.edge-ai-vision.com/2015/11/using-convolutional-neural-networks-for-image-recognition/>
- Hong, J., Fulton, M., & Sattar, J. (2020). Trashcan: A semantically-segmented dataset towards visual detection of marine debris. *arXiv preprint arXiv:2007.08097*.
- Jiménez, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México*. Editorial Limusa.
- Khona'ah, B., Rosiliani, D. y Yani, I. (2019). Identification and classification of plastic color images based on the RGB method. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, 6(5): 543–549.
- Loaiza Alejandro, B. J. (2024). *Sistema de clasificación de botellas mediante el reconocimiento de imágenes para el tratamiento de basura* (B.S. thesis). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Ocampo, M., & Santa Catarina, C. (2019). Plásticos en los océanos. *INCyTU Of. Inf. Científica y Tecnológica para el Congr. la Unión*, 34(6): 9-034.
- Ortiz Zamora, F. G. (2002). *Procesamiento morfológico de imágenes en color: Aplicación a la reconstrucción geodésica*. Tesis Doctoral. Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la Señal. Universidad de

Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/10053>

Pérez-Careta, E., Guzmán-Sepúlveda, J. R., Lozano-García, J. M., Torres-Cisneros, M. y Guzmán-Cabrera, R. (2022). Clasificación de imágenes médicas mediante aprendizaje automático. *DYNA*, 97(1): 35–38. <https://doi.org/10.6036/10117>

Perazzi, F., Khoreva, A., Benenson, R., Schiele, B. y Sorkine-Hornung, A. (2017). Learning video object segmentation from static images. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017*: 2663–2672. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2017.284>

Singh, P. y Sharma, V. S. (2016). Integrated plastic waste management: Environmental and improved health approaches. *Procedia Environmental Sciences*, 35: 692–700.

Rivas, M. y Garelli, O. (2021). Impacto de la contaminación por plásticos en la biodiversidad y patrimonio biocultural de México. *Heinrich Böll Stiftung (ING, México)*. <https://mx.boell.org/es/2021/03/10/impacto-de-la-contaminacion-porplasticos-en-la-biodiversidad-y-patrimonio-biocultural> (Activo Febrero de 2022).

Salina, M., Pezet, B., Osés, L., Cappelletti, M., Osio, J. y Morales, M. (2024). Técnicas de deep learning aplicadas a un sistema de clasificación de objetos para un recolector de residuos inteligente. *Electronic Journal of SADIO (EJS)*, 23(1): 81–98.

Segura, D., Noguez, R. y Espín, G. (2007). Contaminación ambiental y bacterias productoras de plásticos biodegradables. *Bioteología*, 14(3): 361–372.

Singh, D. y Valdenegro-Toro, M. (2021). The Marine Debris Dataset for Forward-Looking Sonar Semantic Segmentation. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision, 2021*: 3741–3749.

Suasnavas Flores, D. F. (2017). *Degradación de materiales plásticos "PET" (Polyethylene Terephthalate), como alternativa para su gestión*. [Formato por definir].

Wang, H., Jiang, X., Ren, H., Hu, Y. y Bai, S. (2021). SwiftNet: Real-time video object



CienciAcierta

segmentation. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2021*: 1296–1305.

Weinstein, B. G. (2017). A computer vision for animal ecology. *Journal of Animal Ecology*, 87: 1–15.

Yáñez, J. M. S. y Benavides, L. M. (2024). Gestión de residuos sólidos y la inteligencia artificial en el contexto mexicano. *Ciencia Nicolaita*, 90: 121–134.



CienciAcierta

APÓSITOS POLIMÉRICOS CON APLICACIONES POTENCIALES EN LESIONES DE LA PIEL

*POLYMERIC DRESSINGS WITH POTENTIAL APPLICATIONS IN SKIN
INJURIES*

RESUMEN

El órgano más grande del cuerpo humano es la piel y su funcionamiento es proteger del medio exterior, sabemos que hay afecciones que pueden hacer daños a este órgano, tales como acné, quemaduras y úlceras, entre otras que comprometen la funcionalidad y apariencia de la piel. En el presente documento abordamos una revisión bibliográfica sobre los apósitos poliméricos que han sido efectivos para el tratamiento de este tipo de afecciones, acelerando la curación y proporcionando protección. Se destaca que existen diversos tipos de apósitos, como los sintéticos y/o naturales, dentro de los naturales se encuentran el quitosano, colágeno, elastina, fibrina, alginatos, entre otros y dentro de los sintéticos apósitos de hidroco-loides, hidrogeles, espumas. La presente revisión tiene como finalidad enfatizar las propiedades específicas que promueven la regeneración de la piel, reducen el dolor y minimizan el riesgo de infecciones, asimismo se abordan una revisión actualizada sobre la investigación de los apósitos poliméricos que reducen o minimizan los diferentes tipos de afecciones en la piel, así como algunos elementos que influyen en la selección adecuada del mismo.

JOSÉ G. CÁRDENAS MARÍN ¹

AIDÉ SÁENZ GALINDO ¹

ADALÍ CASTAÑEDA FACIO ¹

JOSÉ J. CEDILLO PORTILLO ²

1. Facultad de Ciencias
Químicas, Unidad Sureste,
UAdeC.

2. Senda Química, Puebla,
Puebla.

Correspondencia
aidesaenz@uadec.edu.com
<https://orcid.org/0000-0001-7554-7439>



CienciAcierta

Palabras clave: apósitos poliméricos; afecciones; hidrocoloides; regeneración de la piel.

Fecha de recepción
15 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
10 de febrero abril de 2025.

ABSTRACT

The largest organ of the human body is the skin, and its primary function is to protect against external environmental factors. However, various conditions, such as acne, burns, and ulcers, can damage this organ, compromising its functionality and appearance. This document presents a literature review on polymeric dressings that have proven effective in treating such conditions by accelerating healing and providing protection. It highlights the existence of various types of dressings, including synthetic and/or natural ones. Natural options include chitosan, collagen, elastin, fibrin, and alginates, among others, while synthetic options include hydrocolloid dressings, hydrogels, and foams. This review aims to emphasize the specific properties of these dressings that promote skin regeneration, reduce pain, and minimize the risk of infections. Additionally, it provides an updated overview of research on polymeric dressings that reduce or mitigate different types of skin conditions and discusses key factors influencing their proper selection.

Keywords: *polymer dressings; conditions; hydrocolloids; skin regeneration.*



CienciAcierta

INTRODUCCIÓN

La piel es la primera línea de defensa contra el ambiente, por ello se debe de cuidar este órgano tan importante, que es susceptible a una variedad de problemas que pueden afectar tanto su apariencia como su funcionamiento (Navarrete y col., 2003). Existen diversos factores que afectan la piel, entre las más comunes se encuentran cicatrices, acné y quemaduras, las cuales pueden dejar marcas duraderas, variando su gravedad, otros problemas relacionados con la piel son las ampollas y manchas las cuales provocan cambio en el color de la piel y pueden ser manifestaciones de reacciones alérgicas o enfermedades subyacentes lo que provoca irritación, comezón y enrojecimiento. (Dearborn, 2005). Por otro lado, se tienen enfermedades o padecimientos más graves como úlceras, particularmente preocupantes en personas con condiciones de diabetes, debido a que si la úlcera o herida llega a infectarse tiene un alto riesgo de no cicatrizar adecuadamente y podría casuar la amputación de la extremidad (Flores y col., 2021). Estos factores pueden ser ocasionadas por el mal funcionamiento del algún órgano del cuerpo, infección de bacterias, parásitos, virus, hongos o por lesiones externas causadas por algún agente físico o químico (Ureta y col., 2021). Los apósitos son una alternativa para la recuperación, curación, protección de la piel y su tratamiento dependerá de las características del material y la gravedad de la lesión presentada, estos materiales son una opción viable, ya que favorece la reducción del tiempo de curación, ayuda a la disminución del dolor, brindando una sensación de alivio y existe una amplia gama para cada situación (Pujalte y col. 2008).

El objetivo principal de esta revisión bibliográfica es dar a conocer



de forma general los materiales poliméricos más comunes empleados como apósitos para la recuperación y mejora de la piel.

LA PIEL

Se trata del órgano con mayor superficie del cuerpo y que está conformado por tres zonas importantes; epidermis, dermis e hipodermis. La epidermis es la capa más superficial de la piel y está constituida por dos grupos de células; queratinocitos o células no dendríticas y células dendríticas, los queratinocitos tienen una capacidad alta de regeneración, mientras que las células dendríticas y no dendríticas (fibroblastos), su regeneración es menor, sin embargo, presentan funciones relevantes como la producción de colágeno y dar inmunidad a la piel (Navarrete y *col.*, 2003). Este extenso órgano protege al huésped del ambiente que los rodea y al mismo tiempo interactúa con él, esto debido a que es un complejo dinámico con funciones de barrera, permeabilidad, protección contra agentes infecciosos o radiación ultravioleta, termorreguladora, tiene la capacidad de reparación y es la estética del ser humano (Rothman y *col.*, 1946). Una de las características más relevantes de la piel es la variación en su grosor según la zona del cuerpo donde se encuentre. Esta variación está determinada por su estructura y función específicas en cada área. Por ejemplo, la piel es más gruesa en los glúteos, las palmas de las manos y las plantas de los pies, donde su grosor oscila entre 1.5 mm y 4 mm. En contraste, en zonas como los párpados y el prepucio, la piel es mucho más delgada, con un grosor aproximado de 0.05 mm a 0.5 mm. El grosor de la piel está principalmente influenciado por la demanda de protección y fricción a la que está expuesta cada área. Sin embargo, otros factores como la edad, el sexo, la raza, la salud general y el clima también pueden afectar su grosor y apariencia



(Dearborn, 2005).

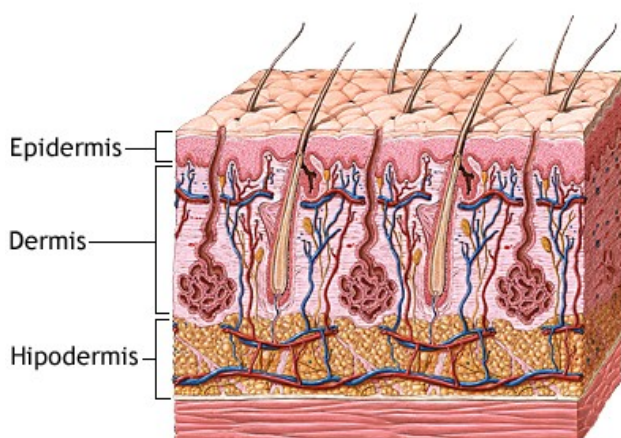


Figura 1. Capas de la piel: MedlinePlus enciclopedia médica ilustración (s. f.).https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/8912.htm

LESIONES DE LA PIEL

Entendemos por lesión el daño que ocurre en la piel, no importando el factor de origen que lo haya causado, sean accidentes, golpes, cortes, quemaduras, caídas u otras causas físicas, químicas o biológicas, pueden ser lesiones menores o severas (Quintero y González, 2020). Entre estas lesiones se encuentran las causadas por microorganismos, este tipo de lesiones generalmente infectan las partes blandas de la piel y su origen puede derivarse de bacterias, virus, parásitos y hongos, lesiones originadas por daños de algún órgano del cuerpo y lesiones físicas o químicas provocadas por agentes irritantes, tóxicos o algún daño cutáneo por cortes, quemaduras, golpes o traumatismos (Flores y col., 2021; Zaenglein y col., 2018). Las lesiones pueden clasificarse en dos grandes grupos, como se muestra en la Tabla 1:



CienciAcierta

Tabla 1. Clasificación de lesiones y su daño

| Lesiones primarias | Lesiones secundarias |
|---|---|
| Pápulas: Pequeños abultamientos sólidos | Escamas: acumulación de células muertas en la piel |
| Vesículas: Pequeñas ampollas llenas de líquido, menores de 1 cm | Costras: formación de una cubierta dura en la piel debido a la coagulación de sangre o pus |
| Nódulo: Lesiones elevadas más grandes y profundas que las pápulas | Úlceras: pérdida de la epidermis y, a menudo, de las capas más profundas de la piel |
| Pústulas: lesiones llenas de pus (como en el acné) | Cicatrices: resultado del proceso de curación de una lesión previa |

Las lesiones primarias son alteraciones que aparecen en la piel aparentemente sana, mientras que las lesiones secundarias se derivan de las lesiones primarias, ya sea por evolución de la enfermedad o por factores externos (Abduelmula y col., 2022; Bologna y col., 2012). Como se ha mencionado, existen diversos tipos de lesiones y cada una es provocada por algún factor distinto, pero existen también del tipo “grave” que afectan la piel y que son potencialmente peligrosas y afectan de una manera muy agresiva la integridad del humano, como las quemaduras, las cuales pueden ser de primero, segundo y de tercer grado dependiendo de su profundidad y la cantidad de tejido dañado (provocado por algún factor térmico, químico y/o radiación), úlceras por presión, úlceras diabéticas, gangrena, heridas profundas causadas por algún arma blanca o balas, las cuales pueden requerir una



intervención médica rápida e intensiva para evitar complicaciones mayores (Cunto *col.*, 2020; Li, Y *col.*, 2023).

APÓSITOS POLIMÉRICOS

Los apósitos poliméricos son aquellos materiales cuyo propósito es el de cubrir, proteger y curar heridas de un tejido dañado, estas son sus funciones principales pero además proporciona el intercambio gaseoso adecuado, regulan y/o medir la liberación de factores de crecimiento y citoquinas, son materiales elásticos, biocompatibles con los tejidos y la sangre, no son tóxicos ni antigénicos, mantienen la herida en un nivel de humedad adecuado, son antibacterianos, promueven el crecimiento de células nuevas y no causan ningún trauma en los tejidos o heridas (Valencia-Gómez *y col.*, 2016; Madrigal *y col.*, 2022). Este tipo de materiales se clasifican debido a su origen, ya sean naturales o sintéticos, actualmente se encuentra una amplia variedad de cada uno de ellos, un dato interesante es que los apósitos naturales tienen actividad biológica mientras que los sintéticos principalmente se enfocan en la liberación de principios activos (Martínez-Correa *y col.*, 2020; Archana *y col.*, 2015).

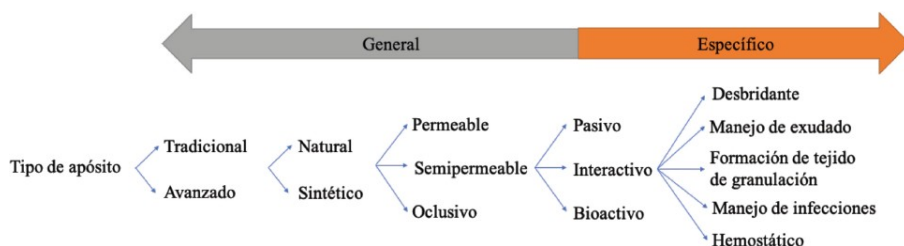


Figura 2. Clasificación de los apósitos (Martínez-Correa *y col.*, 2020).

En la tabla 2 se describen brevemente algunos ejemplos de apósitos naturales y sintéticos, indicando su aplicación y los materiales de los que están derivados. Es importante destacar que la mayoría de estos apósitos están elaborados a partir de materiales cuidadosamente seleccionados por su biocompatibilidad y su capacidad para promover la regeneración y cicatrización de tejidos. Ambos tipos de apósitos son eficaces en la protección contra infecciones y en el mantenimiento de un ambiente húmedo, favoreciendo así una cicatrización más rápida y segura.

Tabla 2. Apósitos naturales y sintéticos, su composición y aplicaciones.

| Apósitos naturales | Composición | Aplicaciones | Referencias |
|----------------------------|---|--|---|
| Algas (alginato de calcio) | Derivado de algas pardas, polímero natural que contiene iones de calcio | Ideal en heridas con exudado moderado a alto, manteniendo un ambiente húmedo para la cicatrización, usado en úlceras por presión o venenosa. | García Fernández y col., 2007 |
| Celulosa bacteriana | Celulosa producida por bacterias | Ideal en heridas crónicas, quemaduras y úlceras, por su capacidad de retener agua y promover humedad. | Bellón, J. A. y col., 2004 Alvarez, A. y col., 2022 |
| Agarosa | Derivados de algas marinas rojas | Usado como gel para heridas superficiales, promoviendo ambiente húmedo y proceso de regeneración, como en quemaduras y heridas postoperativas. | Gombau, H. E. y col., 2009 Hurtado, D. D. y col., 2024 Rahman Synthia, S. S. y col., 2023 |
| Goma guar | Polisacárido extraído de las semillas de guar | Usado en la combinación de más polímeros que requieren retención de líquidos y cicatrización de | Miranda., 2020 Zuo y col., 2010 |



| | | |
|--|--|---|
| | | heridas con control de exudado, como en úlceras diabéticas o heridas de cicatrización lenta. |
| Poliuretano | Compuestos de polímeros sintéticos flexibles y resistentes | Ideal en heridas con exudado moderado alto como úlceras por presión o heridas quirúrgicas. |
| Silicona | Silicona suave y no adherente | Adecuado para heridas crónicas, cicatrices hipertróficas y queloides, promueve la curación y no hace daño al retirarse, hoy usado en cicatrices quirúrgicas y quemaduras. |
| Poli (ácido láctico-co-glicólico) (PLGA) | Copolímero sintético biodegradable | Apósitos bioactivos que liberan factores de crecimiento o medicamento que promueve a la cicatrización acelerada, utilizando lesiones traumáticas profundas y heridas quirúrgicas. |
| Poli(etileno-glicol) (PEG) | Polímero hidrolizado sintético. | Usado en apósitos que mantiene la humedad sin adherirse a la piel y administra el medicamento controlado, como en quemaduras de segundo grado y heridas quirúrgicas. |

Aunque existen numerosos tipos de apósitos, dos destacan por su gran utilidad en la actualidad: los apósitos de colágeno, de origen natural, y los hidrocoloides, de origen sintético, están diseñados para el tratamiento de heridas, especialmente en el cuidado avanzado de heridas crónicas o de difícil cicatrización.

Apósitos de colágeno



CienciAcierta

El colágeno es una macromolécula que contiene prolina, lisina y glicina, es considerado como el ingrediente principal de la matriz de varios tejidos, es responsable activo de la migración y adhesión celular, debido a su propiedad de reconocimiento a células específicas.

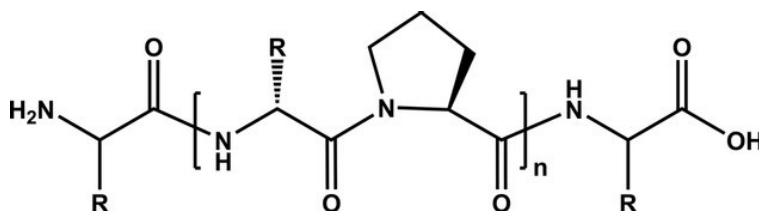


Figura 3. Estructura química del colágeno

(<https://www.shutterstock.com/es/image-vector/collagen-molecule-protein-helix-skincare-serum-2138222221>)

Esto hace que el colágeno sea uno de los biopolímeros más utilizados para la obtención de diversos biomateriales, por sus aplicaciones como la regeneración de piel, ya que éste incrementa los fibroblastos y queratinocitos, además posee una estructura porosa y de baja inmunogenicidad (Gautam y *col.*, 2014). El colágeno ha sido utilizado en gran manera para la fabricación de biomateriales en el área de ingeniería tisular, elaborando materiales compuestos como nanofibras y andamios elaborados de quitosano/colágenos, geles de colágeno los cuales resultan favorables en la curación de heridas cutáneas y cicatrización de la piel (Wang y *col.*, 2015; Jridi y *col.*, 2015).



quitosano/colágenos, geles de colágeno los cuales resultan favorables en la curación de heridas cutáneas y cicatrización de la piel (Wang y col., 2015; Jridi y col., 2015).



Figura 4. Apósito de colágeno (<https://www.infomecum.com/tratamientos/showproduct/id/15>).

Lázaro-Martínez y colaboradores en el 2007, realizaron un estudio donde comparaban los apósitos de colágeno y celulosa oxidada para la regeneración de úlceras en pacientes con pie diabético. El estudio se llevó a cabo en condiciones controladas, de una forma aleatoria y comparativa en 40 pacientes con úlceras de pie diabético, estas lesiones llevaban un tiempo prolongado de seis semanas, dividieron a los 40 pacientes en dos grupos de 20, al primer grupo su tratamiento fue los apósitos modulador de proteasas, y al otro grupo se consideró un tratamiento según protocolo estandarizado, este control se realizó en 6 semanas para verificar y tener un resultado más preciso y concreto sobre los dos tratamientos. Los resultados obtenidos para cada grupo fueron los

siguientes: primero grupo hubo un total de cicatrización de 12 (63 %) de 19 pacientes, mientras que para el grupo dos solamente hubo una cicatrización total de 3 (15 %) de 19 pacientes. Concluyeron que los apósitos moduladores de proteasa obtuvieron una mejor regeneración tisular en menor tiempo y con más pacientes, a comparación con un buen tratamiento local (Lázaro-Martínez y *col.*, 2007).

APÓSITOS HIDROCOLOIDES

Los apósitos de hidrocoloides o hidroactivos, son utilizados como apósitos que mantiene la humedad en las heridas. Suelen estar compuestos por polímeros naturales que forman gel, como la gelatina, el colágeno y la carboximetilcelulosa, combinados con adhesivo aplicados sobre un soporte, lo que da lugar a obleas absorbentes, autoadhesivas e impermeables. Estos apósitos pueden absorber el exudado de la herida y formar geles. Las características de los hidrocoloides, tales como la capacidad de absorción de agua, la adhesión, integridad, eficacia mecánica y potencial de cicatrización, depende de su formulación específica. Se han realizado investigaciones para mejorar el proceso de cicatrización recubriendo los apósitos con polímeros bioactivos como fibronectina, quitosano, alginato y fibroína de seda.

Módenes y *col.* desarrollaron apósitos hidrocoloides para el tratamiento de heridas agudas y crónicas. El estudio se realizó en 428 pacientes con una edad promedio de 74 años, donde se observó una mejora significativa en la epitelización, aumentando del 35 al 86 %. Además, se registró una reducción del dolor en un 60%, una disminución del nivel de exudado en un 50 %, una reducción del eritema perilesional en un 65 % y una disminución del 57 % en la maceración de la piel. Los pacientes reportaron un





95 % de satisfacción. Los investigadores concluyeron que se alcanzó un alto grado de satisfacción y que los objetivos del estudio fueron cumplidos, demostrando una notable mejora en las heridas, una cicatrización eficaz y un acelerado proceso de curación (Módenes y col., 2006).

Figura 5. Apósitos de hidrocoloides (<https://www.masquesalud.es/apositos-hidrocoloides-que-son-y-para-que-sirven/>)

CONCLUSIONES

Al estudiar en profundidad el comportamiento de los materiales poliméricos en el tratamiento de afecciones cutáneas, encontramos alternativas innovadoras que han revolucionado la medicina y la dermatología. Entre estos, destacan especialmente

los apósitos de colágeno e hidrocoloides, los cuales han demostrado en múltiples investigaciones su efectividad y versatilidad. Estas opciones ofrecen propiedades excepcionales, como la capacidad de mantener un ambiente húmedo óptimo, fomentar la cicatrización y proteger la piel de infecciones. La investigación y el desarrollo de nuevos biomateriales en esta área sigue en constante evolución, lo que permite mejorar continuamente estos apósitos para su uso clínico y terapéutico.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Autónoma de Coahuila y al programa de Maestría en Ciencia y Tecnología de Materiales por su apoyo en la formación de profesionistas. También agradezco al CONAHCYT por la beca con No. 2061683.

REFERENCIAS

- Abduelmula, A., Minhajur Rahman, S., & Jafferany, M. (2022). Psychodermatology awareness: Representation of psychocutaneous diseases in dermatology textbooks. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(10): 5266-5269. <https://doi.org/10.1111/jocd.14917>
- Ajiteru, O., Lee, O. J., Kim, J. H., Lee, Y. J., Lee, J. S., Lee, H., Tipu Sultan & Park, C. H. (2022). Fabrication and characterization of a myrrh hydrocolloid dressing for dermal wound healing. *Colloid and Interface Science Communications*, 48: 100617-100624. <https://doi.org/10.1016/j.colcom.2022.100617>

- Alvarez, A., Patiño, D., & Veles, A. (2022). Caracterización de un apósito a base de celulosa bacteriana para la administración de antibióticos. *IBERO Puebla*, 12183-A: 1-9. <https://hdl.handle.net/20.500.11777/5586>
- Archana, D., Singh, B. K., Dutta, J., & Dutta, P. K. (2015). Chitosan-PVP-nano silver oxide wound dressing: in vitro and in vivo evaluation. *International journal of biological macromolecules*, 73: 49-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2014.10.055>
- Bellón, J. A., & López, A. M. (2004). Apósitos de alginato cálcico e hidrocelulares en la prevención y el tratamiento de Úlceras por Presión. *Metas de enfermería*, 7(3): 28-32.
- Bologna, J. L., Jorizzo, J. L., & Schaffer, J. V. (2012). *Dermatology e-book*. Elsevier Health Sciences, 2(4). ISBN: 9780323680745.
- Cunto, E. R., Colque, Á. M., Herrera, M. P., Chediack, V., Staneloni, M. I., & Saúl, P. A. (2020). Infecciones graves de piel y partes blandas. Puesta al día. *MEDICINA (Buenos Aires)*, 80(5): 531-540.
- Dearborn, F. M. (2005). *Enfermedades de la piel*. B. Jain Publishers, 1. ISBN: 8170219221, 9788170219224.
- Flores, R., Villarroel, J. L., & Valenzuela, F. (2021). Enfrentamiento de las infecciones de piel en el adulto. *Revista médica clínica los condes*, 32(4): 429-441. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2021.06.004>
- García Fernández, F. P., Pancorbo Hidalgo, P. L., Verdú Soriano, J., Soldevilla Agreda, J. J., Rodríguez Palma, M., Gago Fornells, M. & Rueda López, J. (2007). Eficacia de los productos para el tratamiento de las úlceras por presión: una revisión sistemática con metaanálisis. *Gerokomos*, 18(1): 36-48. ISSN 1134-928X.
- Gautam, S., Chou, C. F., Dinda, A. K., Potdar, P. D., & Mishra, N. C. (2014). Surface modification of nanofibrous polycaprolactone/gelatin composite scaffold by collagen type I grafting for skin tissue engineering. *Materials Science and Engineering: C*, 34: 402-409. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2013.11.018>



- Gombau, H. E., Cerezuela, I. M., de Torre, F. J. M., Pérez, R. O., & Vela, J. L. S. (2009). Apósito de espuma de poliuretano. *Revista ROL de enfermería*, 32(5): 57-62. ISSN: 0210-5020.
- Gómez-Chabala, L. F., Londoño-López, M. E., & Echeverri-Cuartas, C. E. (2018). Caracterización de matrices de Polivinil alcohol-Alginato-Quitosano-Aloe vera. *Revista Ingeniería Biomédica*, 12(23): 25-30. <https://doi.org/10.24050/19099762.n23.2018.806>
- Hurtado, D. D., Lasa, M. P. E., Gonzalez, O. I., Gibaja, L. L., de Larramendi Fernandez, M. T. R., & Fernandez, I. R. (2024). Efecto de un gel de silicona tópico y un apósito de poliuretano en la evolución de cicatrices. *Enfermería Clínica*, 34 (4): 250-258. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2024.02.007>
- Jridi, M., Bardaa, S., Moalla, D., Rebaii, T., Souissi, N., Sahnoun, Z., & Nasri, M. (2015). Microstructure, rheological and wound healing properties of collagen-based gel from cuttlefish skin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 77: 369-374. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.03.020>
- Li, Y., Hu, X., Dong, G., Wang, X., & Liu, T. (2024). Acne treatment: research progress and new perspectives. *Frontiers in Medicine, review article* 11: 1425675. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1425675>
- Madrigal, E. A. A., Guevara, K. J. B., Baez, M. E. G., Díaz, W. J. Z., & Rivas, Y. M. C. (2022). Apósitos oclusivos elaborados a base de piel de tilapia para quemaduras profundas. *Revista Universitaria del Caribe*, 28(01): 74-83. <https://doi.org/10.5377/ruc.v28i01.14498>
- Martínez, B. S., López, C. M., Pérez, J. G., & Larios, M. Q. (2000). Apósitos hidrocoloides en úlceras crónicas de origen vascular de los miembros inferiores. *Revista de la Facultad de Medicina UNAM*, 43(4): 130-132.
- Martínez-Correa, E., Osorio-Delgado, M. A., Henao-Tamayo, L. J., & Castro-Herazo, C. I. (2020). Clasificación sistemática de apósitos: una revisión bibliográfica. *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, 41(1): 5-28. <https://doi.org/10.17488/rmib.41.1.1>



- Miranda Altamirano, A. (2020). Uso de apósitos en quemaduras. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*, 46: 31-38. <https://dx.doi.org/10.4321/s0376-78922020000200008>
- Módenes Casillas, J. C., Porras Pastor, J. M., Pelet Larres, M., Cámara Díaz, S., Jové Lance, E., Santaló Rios, I., & Palacio Pellón, J. L. (2006). Evaluación de la satisfacción y efectividad del apósito de hidrocoloide Sureskin® II en el tratamiento de las heridas agudas y crónicas. *Gerokomos*, 17(4): 225-234. ISSN 1134-928X
- Navarrete Franco, G. (2003). *Histología de la piel*. Revista de la Facultad de Medicina, 46(4): 130-133.
- Pott, F. S., Meier, M. J., Stocco, J. G. D., Crozeta, K., & Ribas, J. D. (2014). La efectividad del hidrocoloide versus otros apósitos en la cicatrización de úlceras por presión en adultos y ancianos: revisión sistemática y metanálisis. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 22: 511-520. <https://doi.org/10.1590 /0104-1169.3480.2445>
- Pujalte, B. F., Llatas, F. P., Fornes, P. D., Mañez, V. M., & Fernández, V. L. (2008). Apósitos en el tratamiento de úlceras y heridas. *Enfermería dermatológica*, 2(4): 16-19. ISSN-e 2386-4818.
- Quintero Rojas, J., & González, J. (2020). Uso de redes neuronales convolucionales en teléfonos inteligentes para la identificación de enfermedades cutáneas. *Revista de Investigación Docencia y Extensión de la ULA (IDEULA)*, 11(1): 1-10. <https://doi.org/10.53766/IDEULA/2021.01.01.04>
- Rahman-Synthia, S. S., Kumar, S., Boparai, S., Gupta, S., Mohtashim, A., & Ali, D. (2023). Uso profiláctico de apósitos de silicona para minimizar las lesiones por presión: revisión sistemática y metaanálisis. *Enfermería Clínica*, 33(1): 4-13. <https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2022.05.002>
- Lázaro-Martínez, J. L., García-Morales, E., Beneit-Montesinos, J. V., Martínez-De-Jesús, F. R., & Aragón-Sánchez, F. J. (2007). Estudio aleatorizado y comparativo de un apósito de colágeno y celulosa oxidada regenerada en el tratamiento de úlceras neuropáticas de pie diabético. *Cirugía española*, 82(1): 27-31. [https://doi.org/10.1016/S0009-739X\(07\)71657-3](https://doi.org/10.1016/S0009-739X(07)71657-3)



- Rothman, S., & Felsher, Z. (1946). The physiology of the skin. *Review Article, Annual Review of Physiology*, 8: 117-144. <https://doi.org/10.1146/annurev.ph.08.030146.001001>
- Ruiz, M. P., Merino, M. V. F., & Ruiz, A. G. (2024). Desarrollo de Materiales Poliméricos como Hidrogeles con Curcumina para Regeneración de Tejidos de la Piel. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomedica*, 45(3): 99-111. <https://doi.org/10.17488/RMIB.45.3.6>
- Ureta, C. K. V., Cordero, A. W. H., Figueroa, E. E. J., & Tircio, D. C. N. (2021). Enfermedades dermatológicas, diagnóstico diferencial causas y tratamiento. *Dominio de las Ciencias*, 7(6): 1276-1294. <https://doi.org/10.23857/dc.v7i6.2394>
- Valencia-Gómez, L. E., Martel-Estrada, S. A., Vargas-Requena, C. L., Rodríguez-González, C. A., & Olivas-Armendariz, I. (2016). Apósitos de polímeros naturales para regeneración de piel. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 37(3): 235-249. <https://doi.org/10.17488/rmib.37.3.4>
- Wang, F., Wang, M., She, Z., Fan, K., Xu, C., Chu, B. & Tan, R. (2015). Collagen/chitosan based two-compartment and bi-functional dermal scaffolds for skin regeneration. *Materials Science and Engineering: C*, 52: 155-162. DOI: 10.1016/j.msec.2015.03.037.
- Zaenglein, A. L. (2018). Acne vulgaris. *New England Journal of Medicine*, 379(14): 1343-1352. DOI: 10.1056/NEJMcp1702493.
- Zuo, G., Wan, Y., Wang, L., Liu, C., He, F., & Luo, H. (2010). Synthesis and characterization of laminated hydroxyapatite/chitosan nanocomposites. *Materials Letters*, 64(19): 2126-2128. DOI: 10.1016/j.matlet.2010.07.033.

POLVOS DE MOLDE Y SU IMPACTO EN LA COLADA CONTINUA

MOLD POWDERS AND THEIR IMPACT ON CONTINUOUS CASTING

RESUMEN

Para hacer posible la redacción del presente se ha indagado en la literatura acerca de polvos de moldes que se utilizan durante el proceso de fabricación del acero, específicamente en la colada continua. Se investigaron sus principales composiciones y funciones, así como los efectos que tienen en estas aleaciones. La metodología consistió en recopilar y unificar conocimientos dispersos, hacer comparaciones con la información obtenida de distintas épocas y fuentes, y ofrecer una respuesta más actualizada a quienes comparten este mismo campo de estudio. Tomando en cuenta la información recopilada, se concluye que, para garantizar una mejor calidad superficial en el acero, es necesaria una adecuada selección de los polvos coladores, ya que la composición química de estos tiene gran influencia en la capa de escoria formada entre el acero y el molde, así como en la transferencia de calor de estos, lo cual repercute significativamente en el acabado del producto final. De igual forma, se aborda sobre la influencia del grado de acero (es decir, su contenido de carbono) en la adecuada selección de los polvos a utilizar. Es importante mencionar que la colada de planchones delgados de acero requiere ciertas especificaciones (composiciones) en cuanto a los fundentes que se han de añadir, lo cual se abordará más adelante. Una de las funciones más críticas de los polvos de molde es prevenir la reoxidación del menisco, la

ALMA CRISTAL ZAVALA VALLE

JOSÉ MANUEL GONZÁLEZ DE
LA CRUZ

MARÍA DE JESÚS SORIA
AGUILAR

Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.

Correspondencia
alma.zavala@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0001-7470-4532>



CienciAcierta

superficie donde el acero líquido interactúa con el ambiente, pues esto puede introducir impurezas y defectos en el producto final, afectando su integridad y calidad. Al formar una capa protectora sobre el menisco, los polvos de molde garantizan un proceso más limpio y estable.

Fecha de recepción
13 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
20 de febrero de 2025.

Palabras clave: calidad superficial; composición química; capa de escoria.

ABSTRACT

To make it possible to write this article, literature has been investigated about the mold powders used during the steelmaking process, specifically in continuous casting. In the same way, the main compositions and functions of these powders were investigated, as well as the effects they have on these alloys. The methodology was based on collecting and unifying dispersed knowledge, making comparisons with information obtained from different periods and sources, and offering a more up-to-date response to those who share this same field of study. Regarding the results obtained, it is concluded that, in order to guarantee a better surface quality in the steel, an adequate selection of the strainer powders is necessary, since the chemical composition of these has a great influence on the slag layer formed between the steel and the mold, as well as on the heat transfer of these, which has a significant impact on the finish of the final product. Similarly, the influence of steel grade (its carbon content) on the appropriate selection of powders to be used is addressed. It is important to mention that casting thin steel slabs requires certain specifications (compositions) in terms of the fluxes to be added, which are further elaborated later. One of the most critical functions of mold powders is to prevent reoxidation of the meniscus, the surface where liquid steel interacts with the environment, as this can introduce

impurities and defects into the final product, affecting its integrity and quality. By forming a protective layer over the meniscus, mold powders ensure a cleaner and more stable process.

Keywords: *surface quality; chemical composition; slag layer.*

1. INTRODUCCIÓN

Los polvos de colada continua, también conocidos como "polvos de molde", son una tecnología esencial en la industria siderúrgica, utilizada en la producción de aceros de alta calidad. Su uso se ha vuelto cada vez más común debido a la capacidad que estos poseen de otorgar una alta eficiencia durante la fundición, así como en la calidad del producto terminado (Cruz y col., 2007).

La elección de los polvos de molde a menudo se ha realizado mediante prueba y error, o simplemente permitiendo que el proveedor ofrezca soluciones a los posibles problemas implementando cambios en las formulaciones sin especificar detalles al cliente (Cruz, 2000). En la actualidad, los principales proveedores de polvos los producen variando las proporciones de los materiales primarios para lograr cualidades específicas, sin dar detalles acerca de las características de estas combinaciones (Celaya, 1994). Esta dependencia evidente resalta la importancia de conocer las composiciones de los polvos, así como los efectos directos que estos tienen en el acero (Cruz, 2000).

Este análisis proporciona una visión detallada de los tipos de polvos de molde que se utilizan durante la etapa de colada continua, igualmente las consecuencias que estos representan a la



hora de añadirlos en la fabricación del acero.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

La redacción de este artículo está basada en la revisión exhaustiva en la literatura que comprende trabajos realizados en el área a la cual se enfoca este escrito. De manera general, se seleccionaron algunos de los trabajos relacionados más recientes (de la última década hasta la fecha) para sostener información más actualizada, pero sin dejar de lado algunos más antiguos cuya aportación a la ciencia es de gran impacto, por lo que no es ideal omitirlos.

Con ayuda de algunos buscadores académicos tales como ScienceResearch, Google Académico, Springer Link, Academia, así como la revisión a distintos sitios web de revistas enfocadas al área de estudio, se logró realizar la adecuada recolección de información necesaria para hacer este artículo posible.

La presente revisión resulta de gran utilidad para estudios en los campos relacionados con los factores que tienen gran influencia en los defectos que presentan los aceros. Además, cabe destacar que, a diferencia de la gran mayoría de artículos semejantes al presente, aquí se presentan elementos destacables tales como el cuadro comparativo con las patentes relacionadas al tema de revisión, estas se encontraron mediante la plataforma OMPI, de igual manera se añadió en el contenido una figura realizada con la herramienta LitMaps, en la cual se incluyeron algunas de las investigaciones realizadas acerca del tema de interés.



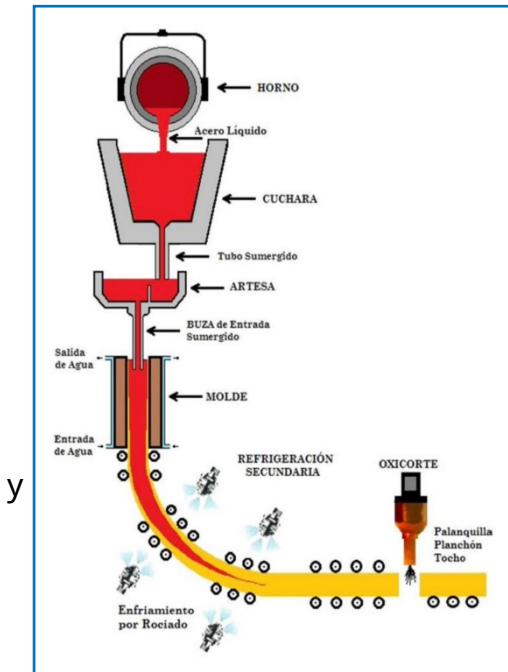
3. DISCUSIÓN

3.1 LA COLADA CONTINUA EN EL ACERO

La colada continua es una etapa fundamental en el proceso de fabricación del acero, utilizado para convertir acero fundido en productos sólidos mediante la solidificación continua. Este método ofrece numerosas ventajas, como la reducción de costos, incremento en la eficiencia y la mejora en la calidad del acero comparado con los métodos de colada tradicional (Romo, 2011).

Este proceso implica la solidificación del acero fundido mientras se mueve a través de un molde vertical (Zare y col., 2014). El acero fundido es vertido en un molde refrigerado donde comienza a solidificarse. Este proceso permite obtener lingotes de acero con formas variadas como placas, lingotes y barras, que luego pueden ser procesados en productos finales (Kumar, 1996).

En la Figura 1 se observan los elementos comprendidos en la colada continua.



El primer enfriamiento en la colada continua del acero tiene lugar en la zona del molde, donde el acero en estado líquido empieza a solidificar al entrar en contacto con los moldes de cobre, cuyas paredes se mantienen refrigeradas con agua (Saldaña col., 2019). Esta etapa es crucial, ya que determina la formación de la capa sólida que recubre el acero líquido, protegiéndolo de

posibles defectos durante su enfriamiento (Vynnycky, 2019).

Figura 1. Proceso de colada del acero
(González y Rengel, 2021).

Este enfriamiento primario de la colada conlleva una intensa transferencia de calor (Cicutti, 1977), en la que el acero pierde

rápidamente calor debido al contacto directo con el molde refrigerado (Ni y col., 2018). La eficiencia de esta transferencia de calor depende de algunos factores, tales como la composición química del acero, así como de los polvos coladores utilizados, la temperatura y velocidad de colada, y los parámetros de enfriamiento (temperatura y flujo) (Bai y col., 2016).

Además, este enfriamiento rápido en el molde genera una capa de escoria que es crítica para evitar defectos como la segregación o la formación de grietas (Mills y col., 2014).

3.2 CAPA DE ESCORIA ENTRE EL ACERO Y EL MOLDE

En el proceso de colada continua, es fundamental prestar atención

a la composición mineralógica de la capa de escoria que se forma entre el acero fundido y el molde, ya que esta capa desempeña un papel esencial en varias facetas del proceso. Los minerales que componen la escoria influyen de manera directa en la transferencia de calor desde el acero hacia el molde, lo cual es crucial para controlar la solidificación del acero y evitar defectos en el producto final. Además, la temperatura de fusión de la escoria, que está determinada por su composición mineralógica, tiene un impacto en la eficiencia del proceso, ya que debe mantenerse dentro de un rango adecuado para facilitar su formación y comportamiento (Cruz, 2008). Por último, las propiedades de lubricación de la escoria, que también dependen de su constitución, afectan el deslizamiento del acero dentro del molde, lo que puede influir en la calidad de la colada y en la durabilidad del proceso (Cruz y col., 2007). En conjunto, todos estos factores afectan de manera significativa el desempeño general del proceso de colada continua, por lo que comprender y controlar la constitución mineralógica de la escoria es esencial para lograr un proceso eficiente y de alta calidad.

3.3 POLVOS COLADORES

Los polvos de colada juegan un rol importante en este proceso, ya que influyen en la fricción, la transferencia de calor y la protección del molde (Wu y col., 2015).

Es necesario lubricar el molde de colada evitando la fricción entre este y la costra solidificada, ya que, de no hacerlo, podrían formarse grietas y fisuras en los productos finales de acero. Una manera de lograr esta lubricación es mediante el uso de polvos de moldes, los cuales consisten en escorias sintéticas empleadas para recubrir al acero cuando está en estado líquido en el molde (Cui y



col., 2019). Estos polvos contienen principalmente SiO_2 , CaO y Al_2O_3 , junto con fundentes como óxidos alcalinos (Na_2O) y fluoruros (CaF_2), los cuales regulan la viscosidad y el rango de fusión de la escoria formada. Además, se les añade entre un 3% y un 6% de carbono, lo que les confiere propiedades de aislamiento de la temperatura y permite regular la velocidad de fusión (Cruz, 2000).

Los polvos de molde aportan grandes beneficios en este proceso, ya que disminuyen la fricción de manera más efectiva que los lubricantes a base de aceite (Yan y col., 2019). Además, proporcionan aislamiento químico y térmico al acero en estado líquido, permitiendo realizar la colada a temperaturas más bajas (Cruz y col., 2004). Sin embargo, su función principal es evitar la reoxidación del menisco del acero líquido (Kong y col., 2019).

En la Figura 2 se observa la etapa del enfriamiento primario de la colada, en la cual se añaden los polvos coladores.

El acero se enfría al entrar en contacto con la pared del molde, y el planchón de acero, que aún tiene un núcleo líquido, es extraído constantemente del fondo del molde hacia la cámara de aspersión, donde se enfría mediante agua pulverizada a presión. A medida que desciende a lo largo de las paredes del molde, los polvos del molde actúan como lubricantes y facilitan la

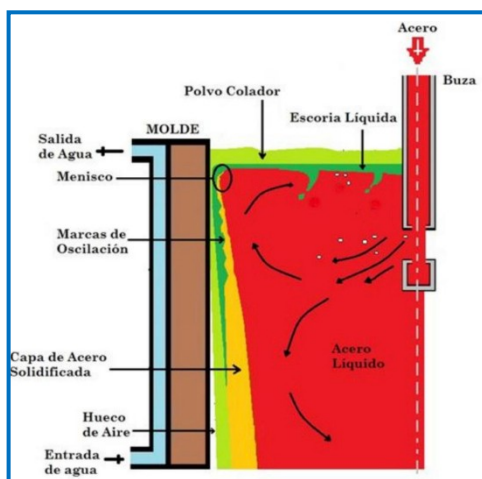


Figura 2. Elementos presentes en el enfriamiento primario de la colada (González y Rengel, 2021).



transferencia de calor entre el molde y el acero (Celaya y col., 1994).

Lo que ocurre en esta etapa de la colada se puede subdividir en cuatro etapas:

- Una vez que el polvo colador se introduce en el molde, se calienta sin alterar su estructura y forma original.
- El carbono comienza a quemarse a medida que aumenta la temperatura. Al mismo tiempo, algunas partes del material base entran en contacto y se inicia el proceso de sinterización, que progresa conforme se calienta el polvo y se quema el carbono.
- El material base comienza a fundirse, formando gotas de fundente líquido alrededor de las partículas de carbono.
- Por último, se forma un baño de fundente completamente líquido (Rodríguez, 1995).

Después, el fundente líquido fluye sobre la superficie del acero e infiltra entre el molde y el acero durante el ciclo de oscilación. Parte del polvo fundido infiltrado se solidifica al entrar en contacto con la pared del molde de cobre, enfriada por agua, formando una capa sólida, mientras que una capa de polvo fundido sigue en contacto con la cáscara de acero solidificado (Sánchez, 2007).

En el proceso de formación de la capa solidificada de acero, la mayor extracción de calor en el molde ocurre en el menisco, el punto inicial de la solidificación. La principal resistencia al flujo de calor se encuentra en la interfaz entre el acero solidificado y el molde, debido a una brecha de aire que se forma como resultado de la contracción del acero y la deformación del molde (Shen y col., 2017). En esta brecha, se infiltra el polvo de colada y se va transformando en diferentes capas vítreas, cristalinas o líquidas al



entrar en contacto con el molde enfriado y el acero fundido. Estas capas influyen en la transferencia de calor, y su impacto varía según su grosor y conductividad térmica (Jiang y col., 2019), los cuales están influenciados por la velocidad de colada, la temperatura de cristalización y la viscosidad (Zhang y col., 2019).

Los polvos fundentes tienen (además de reducir la fricción) otras funciones cruciales en la colada continua como son:

- Control de la temperatura: Los polvos regulan la transferencia de calor en el molde, ayudando a mantener una temperatura uniforme durante el proceso de solidificación (Wang y col., 2019).

En los procesos de fundición y moldeo, mantener un control preciso de la temperatura es crucial para asegurar tanto la calidad del producto final como la eficiencia del proceso (Niu y col., 2018). Los polvos de molde influyen directamente en el control de la temperatura durante la fundición, ya que son influyentes en la transferencia de calor entre el metal fundido y el molde (Peng y col., 2014).

- Protección del molde: Forman una capa protectora que minimiza la corrosión y el desgaste del molde, lo que prolonga su vida útil (Peterson, 2017).

La protección del molde es un aspecto crítico en los procesos de fundición y moldeo, ya que asegura la durabilidad y el rendimiento óptimo del molde, al mismo tiempo que minimiza defectos en el producto final (Sun y col., 2019). Los fundentes de moldes coladores son un elemento crucial en la protección del molde al proporcionar una barrera contra el desgaste, la corrosión, y la adherencia del metal fundido (Wu y col., 2015).



- Mejora de la calidad superficial: contribuyen a una superficie más uniforme del producto final, reduciendo defectos como el agrietamiento o las inclusiones (Guimarães y Vasconcellos, 2015).

En la industria siderúrgica, la calidad de la superficie del acero es de gran importancia, ya que afecta tanto la apariencia como las propiedades del producto final (Shen y col., 2019).

3.3.1 COMPOSICIÓN Y TIPOS DE POLVOS

Los polvos de molde suelen estar compuestos por una combinación de materiales que optimizan el proceso de colada continua (López y col., 2015) y cumplen con diferentes funciones. Estos se han descrito en la Tabla 1.

Tabla 1. Bases de polvos fundentes y sus efectos en la fabricación del acero.

| Polvos | Efectos del acero |
|--------------------------------|--|
| SiO ₂ | Los polvos a base de óxido de silicio son una de las opciones más comunes en la colada continua. Se utilizan debido a su capacidad para formar una capa protectora en el molde. |
| CaO | Es un componente clave que aumenta la basicidad de la escoria. Una mayor basicidad favorece la absorción de impurezas, como el azufre y los óxidos no deseados, lo que ayuda a limpiar el acero líquido y mejorar su pureza. |
| Al ₂ O ₃ | El óxido aluminico como polvo colador es un importante compuesto ya que ayuda a ajustar la viscosidad de la escoria. Asegura que la escoria fluya adecuadamente por el molde, cubriendo y protegiendo el acero líquido, y evitando problemas de obstrucción o defectos en la solidificación. |
| Na ₂ O | El óxido de sodio es un potente fundente que ayuda en la disminución del punto de fusión de la escoria. Esto permite que la escoria permanezca en estado líquido a temperaturas más bajas, facilitando un proceso de colada más eficiente y |



| | |
|------------------|--|
| | controlado. |
| CaF ₂ | Los fluoruros disminuyen considerablemente la fricción entre el acero fundido y el molde, lo cual facilita la extracción del producto. |

Fuentes: Cruz y col., 2004; González y Rengel, 2021.

3.4 IMPORTANCIA DE LA ADECUADA SELECCIÓN DE POLVOS

La elección de los polvos fundentes a utilizar durante el proceso de colada depende del tipo de acero que se desea producir, ya que diferentes grados de acero requieren características específicas en el material fundente. Para la colada de aceros con distintos contenidos de carbono, desde los de bajo carbono (que contienen entre un 0.015% y un 0.06% de carbono) hasta los de alto carbono (que tienen entre un 0.1% y un 0.25% de carbono), es necesario emplear diferentes tipos de polvos que faciliten el proceso de colado (Cruz y col., 2004). Estos polvos fundentes son esenciales para controlar factores como la temperatura y la formación de escoria. Además, al inicio de la colada, se utilizan polvos de arranque, que son compuestos específicamente diseñados para ser aplicados en las primeras etapas del proceso. En cuanto a los componentes que forman estos polvos, las principales especies presentes son materiales como arcillas, feldespatos, carbonatos y calcita, que proporcionan las propiedades necesarias para el buen desempeño del proceso, independientemente del tipo de acero que se esté colando (Cruz y col., 2007). Estos compuestos permiten lograr la fluidez requerida en la colada, así como ayudar en la estabilización de la temperatura y la protección del molde (Sánchez, 2007).

3.5 POLVOS DE MOLDE PARA PLANCHÓN DELGADO

En el caso de la colada de planchones delgados, los polvos de moldes desempeñan un papel aún más crucial debido a las mayores velocidades de colada, y sobre los cuales se dispone de menos información.

Debido a esto, se ha estado investigando sobre el comportamiento de los polvos de moldes durante su fusión en la producción de planchón delgado de acero.

Estudiar el comportamiento térmico de los fundentes para el molde de colada continua de planchón delgado permite controlar y mejorar los niveles de producción de acero con este proceso, además de optimizar la calidad superficial del producto colado (Brandaleze, 2012).

En términos generales, las diferencias más destacadas entre los fundentes utilizados en el proceso de colada continua de planchón convencional y el de planchón delgado se encuentran en los niveles de carbono y fluorita que contienen. En el caso de los fundentes empleados en el proceso convencional, su composición promedio incluye un 3 % de carbono (C) y un 12 % de fluorita (CaF_2). Este tipo de fundente está diseñado para adaptarse a las condiciones de la colada convencional, donde las temperaturas y velocidades de colada son relativamente más bajas.

Por otro lado, los fundentes utilizados en el proceso de planchón delgado presentan una composición significativamente diferente. Estos fundentes contienen un porcentaje mayor de carbono, generalmente entre un 8 % y un 9 %, lo que les permite manejar las mayores temperaturas y las rápidas tasas de colada características de este proceso avanzado. Además, el contenido de fluorita en estos fundentes varía entre el 15 % y el 23 %, lo que mejora sus



propiedades de fluidez y capacidad de enfriamiento a las altas velocidades de producción del planchón delgado (Sánchez, 2007).

Estas diferencias en la composición son de gran importancia debido a las distintas demandas térmicas y mecánicas que impone cada proceso. En el caso del planchón delgado, el mayor contenido de carbono y fluorita es necesario para optimizar la lubricación y la transferencia de calor en condiciones de colada más exigentes, lo cual es esencial para obtener un producto final de alta calidad y para mantener la eficiencia en la producción (Cruz, 2008).

Hoy en día, el uso de polvos como lubricantes es fundamental por su efecto positivo en la calidad del acero (Yan y col., 2019). La introducción manual de estos polvos en el molde provoca variaciones de espesor e inestabilidad en el menisco; sin embargo, la incorporación de sistemas de alimentación automática ha permitido mejorar estas condiciones (Madias, 2018). A continuación, se presenta la Tabla 2 con las patentes registradas relacionadas con el proceso de colada continua.

Tabla 2. Patentes enfocadas al proceso de colada continua y polvos coladores.

| Nombre | Inventor | Año | Descripción | País | Empresa |
|--|-------------------------|------|--|--------|-------------------------------|
| Sistema automatizado para la incorporación de polvos de colada en la producción de acero por colada continua | NIETO SANCHEZ FABIAN | 2002 | Este sistema utiliza dispositivos de alimentación controlados en cada línea de colada continua, divididos en tolvas con boquillas de descarga. | España | SIDENOR IND S L |
| Procedimiento de colada continua | | 2018 | Una etapa de pulverización para pulverizar un polvo de colada de modo que el | España | NISSHIN STEEL CO., LTD. |



| | | | | | |
|---|---|------|--|--------|---|
| | | | polvo cubra la superficie del metal fundido en la artesa. | | |
| Procedimiento para la optimización de la calidad de superficie de colada continua | FRITZ PETER PLESCHIUTSCHNI GG LOTHAR PARSCHAT HANS GÜNTER THURM HANS UWE FRANZEN GERD-JOACHIM DEPPE | 1999 | El proceso consiste en cubrir el metal fundido con polvo de fundición que forma una escoria, creando una película lubricante entre la pared de la coquilla y la cuerda. | México | MANNESMANN AG |
| Método y aparato para la colada continua de materiales de acero | MIGUEL ANGEL PEDROZA CONTRERAS | 1996 | La presente invención se refiere al método para la colada continua de placa o lámina de acero que comprende vaciar acero líquido en un molde de vaciado oscilante a través de una tobera refractaria sumergida. | México | HYLSA, S.A. DE C.V. |
| Procedimiento para mejorar el control de procesos de colada continua de metales | | 1978 | Se observa el aspecto del metal al salir de la máquina, se registran los movimientos y aceleraciones de la lingotera, y se ajusta la composición del polvo hasta lograr una calidad óptima en la superficie del lingote. | España | CENTRE DE RECHERCHES METALLURGI QUES |

Fuente: Organización mundial de la propiedad intelectual (OMPI).

3.6 TRABAJOS RELACIONADOS

En la Figura 3 se puede observar una red de citas con los autores de los trabajos (y su año de publicación) más relevantes a nivel mundial relacionados al tema de interés.



CienciAcierta

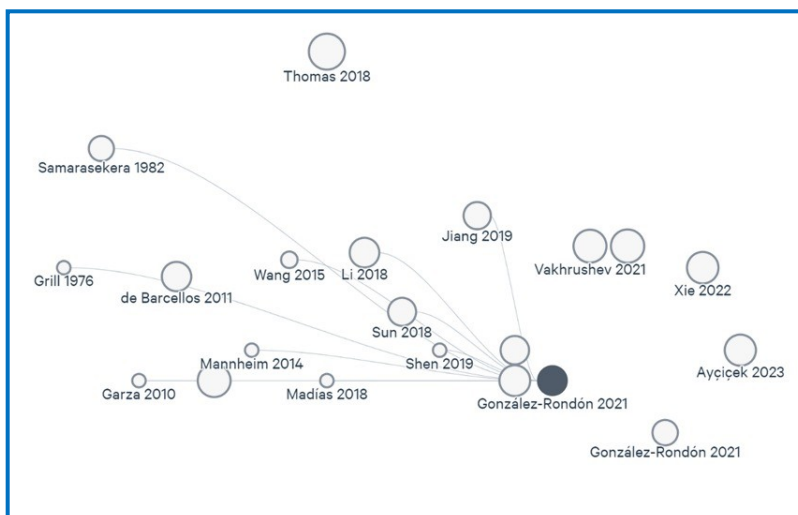


Figura 3. Trabajos con mayor relevancia de los polvos coladores.

4. CONCLUSIONES

La redacción de este artículo de revisión constituye una valiosa fuente de información condensada para la comunidad interesada en el ámbito de la siderurgia, particularmente en los procesos de colada continua y su relación con la calidad de los aceros.

Tras llevar a cabo un análisis exhaustivo de la literatura, se destacan los siguientes aspectos sobre el tema:

El molde es un componente complejo en el proceso de colada continua, debido a la interacción de diversos fenómenos físicos. En esta área se cruzan el transporte de calor, el flujo de fluidos y los cambios de estado del acero, todos los cuales deben ser controlados con precisión. El transporte de calor ocurre por medio de las paredes del molde, donde el acero fundido comienza a solidificarse rápidamente, formando una cáscara sólida. Al mismo tiempo, el acero líquido fluye de manera controlada dentro del molde, enfrentándose a variaciones de velocidad y turbulencias que pueden afectar la uniformidad del enfriamiento.



Además, el cambio de estado de líquido a sólido introduce tensiones térmicas en el material que, si no se controlan adecuadamente, pueden causar defectos en el producto final. Estos fenómenos interrelacionados tienen un impacto directo en la calidad del acero colado, y pueden dar lugar a defectos como grietas superficiales o internas, marcas en la superficie del lingote, segregación de elementos y la inclusión de impurezas no deseadas.

El uso de los polvos fundentes adecuados durante la colada reduce considerablemente la aparición de estos defectos y traen consigo algunos otros beneficios como la reducción de fricción en el molde, mejora de la escoria, formación de capas protectoras en el molde, entre otras, las cuales ya fueron mencionadas anteriormente.

Además de sus aplicaciones en fotocatalisis, el SnO_2 también muestra versatilidad en otras áreas tecnológicas, como en sensores de gases y dispositivos optoelectrónicos, debido a sus propiedades eléctricas y ópticas. Sin embargo, su mayor contribución actual está en la fotocatalisis heterogénea, que ofrece soluciones sostenibles para el tratamiento de aguas contaminadas.

REFERENCIAS

- Bai, L., Wang, B., Zhong, H., Ni, J., Zhai, Q. y Zhang, J. (2016). Experimental and numerical simulations of the solidification process in continuous casting of slab. *Metals*, 6 (3): 53. <https://doi.org/0.3390/met6030053>
- Bommaraju, R. (1991). Optimum Selection and Application of Mold Fluxes for Carbon Steels. *Steelmaking Proceedings*. 3(1): 108- 109. <https://www.dmlsteeltech.us/publications.html>
- Brandaleze, E., Di Gresia, G., Santini, L., Martín, A., & Benavidez, E. (2012). Mould fluxes in the steel continuous casting process. *Science and Technology of Casting Processes*, 4 (2): 12-16. <http://dx.doi.org/10.5772/50874>
- Celaya, A., Morales, R. y Tápia, V. (1994). Polvos de Molde de Colada Continua Análisis Preliminar. *Memorias del XVI Simposio Nacional de Siderurgia*. 16 (4): 17 [http://espartaco.azc.uam.mx/UAM/217996/files/assets/basic-html/ page 88.html](http://espartaco.azc.uam.mx/UAM/217996/files/assets/basic-html/page 88.html)
- Cicutti, C. (1977). Transferencia de calor en la colada continua de aceros. *Revista Metalurgia*, 33 (5): 333-344. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.1997.v33.i5.846>
- Cruz, A. (2000). Obtención de fundentes para molde de colada continua y su caracterización. *Memorias de resúmenes UAEH*. 1 (3): 5-8. https://www.uaeh.edu.mx/cncim2013/memorias_del_encuentro/resumenescncim2013
- Cruz, A., Chávez, J. y Romero, J. (2004). Diseño de polvos de molde para colada continua de slabs de aceros bajo carbono. *Revista de Metalurgia*, 40 (1): 39-45. <https://doi.org/10.3989/revmetalm.2004.v40.i1.241>
- Cruz, A., Nava, O., Aldama, A. y Ramírez, M. (2007). Caracterización de Fundentes para Molde de Colada Continua de Acero. *Redalyc*, 17 (1): 52-58. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41617105>
- Cruz, A. (2008). Formación de especies mineralógicas en escorias. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 2-4. https://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20070_135_4699.pdf
- Cui, H., Zhang, K., Wang, Z., Chen, B., Liu, B., Qing, J. y Li, Z. (2019). Formation of



Surface Depression during Continuous Casting of High-Al TRIP Steel. *Metals*, 9 (2): 204. <https://doi.org/10.3390/met9020204>

González, Y. y Rengel, J. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua: una revisión. *TecnoLógicas*, 24 (51): 15-22. <https://doi.org/10.22430/22565337.1856>

Guimarães, M. y Vasconcellos da Costa e Silva, A. (2015). Evaluating segregation in HSLA steels using computational thermodynamics. *Journal of Materials Research and Technology*, 4 (4): 353-358. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2015.06.002>

Jiang, D., Zhu, M. y Zhang, L. (2019). Numerical Simulation of Solidification Behavior and Solute Transport in Slab Continuous Casting with S-EMS. *Metals*, 9 (4): 452. <https://doi.org/10.3390/met9040452>

Kong, Y., Chen, D., Liu, Q. y Long, M. (2019). A Prediction Model for Internal Cracks during Slab Continuous Casting. *Metals*, 9 (5): 587. <https://doi.org/10.3390/met9050587>

Kumar, S. (1996). Mould thermal response and formation of defects in the continuous casting of steel billets. *Department of Metals and Materials Engineering*, 3 (1): 5. <https://dx.doi.org/10.14288/1.0078578>

López, R., Usart, J. y Cerutti, D. (2015). Medición de nivel en los moldes de colada continua. *46° Seminario de Acería Internacional*, 2 (46): 25-34. <https://doi.org/10.5151/1982-9345-26160>

Madias, J. (2018). Innovaciones en la colada continua de semiproductos para laminados largos. *Acero Latinoamerican.*, 5 (567): 26- 37. <https://api.semanticscholar.org/Corpus>

Mills, K., Ramírez, P., Lee, P., Santillana, B., Thomas, B. y Morales, R. (2014). Looking into continuous casting mould. *Ironmaking and Steelmaking*, 41 (4): 242-249. <https://doi.org/10.1179/0301923313Z.000000000255>

Ni, P., Ersson, M., Ingemar, L., Zhang, T. y Jönsson, P. (2018). Numerical Study on the Influence of a Swirling Flow Tundish on Multiphase Flow and Heat Transfer in Mold. *Metals*, 8 (5): 368. <https://doi.org/10.3390/met8050368>



CienciAcierta

- Niu, R., Li, B., Liu, Z. y Li, X. (2018). Melting of Moving Strip during Steel Strip Feeding in Continuous Casting Process. *Steel research international*, 89 (5): 2-13. <https://doi.org/10.1002/srin.201700407>
- Peng, Z., Ping Bao, Y., Nan Chen, Y., Kang Yang, L., Xie, C. y Zhang, F. (2014). Effects of calculation approaches for thermal conductivity on the simulation accuracy of billet continuous casting. *Int. J. Miner. Metall. Mater*, 21 (3): 18-25. <https://doi.org/10.1007/s12613-014-0860-6>
- Peterson, E. (2017). Mold flux crystallization and mold thermal behavior. *Missouri University of Science and Technology*. 2 (12): 2-18. https://scholarsmine.mst.edu/masters_theses/7656
- Rodríguez, A. (1995). Propiedades Térmicas de Fundentes de Colada Continua. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 10-14.
- Romo, J. (2011). Estudio de la formación de especies mineralógicas en el molde de colada continua de planchón delgado de acero, *Instituto politécnico nacional*. 4 (7): 17-32. <https://www.semanticscholar.org/paper/>
- Saldaña, F., Torres, E., Ramos, J., Solorio, G. y Hernández, C. (2019). Analysis of the Depth of Immersion of the Submerged Entry Nozzle on the Oscillations of the Meniscus in a Continuous Casting Mold. *Metals*, 9 (5): 596. <https://doi.org/10.3390/met9050596>
- Sánchez, A. (2007). Estudio del comportamiento de fusión de fundentes para molde de colada continua de planchón delgado. *Instituto politécnico nacional*. 1 (1): 2-12. <https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/>
- Shen, M., Liu, Y., Zhu, X., Xiao, Z. y Liu, Y. (2019). Study on the influence of new riser structure on the quality of steel ingot. *Metalurgia*, 58 (1): 47-50. <https://www.bibliotecadigitaldebogota.gov.co/resources/3654445/>
- Shen, M., Zang, Z. y Shu, K. (2017). Mathematics simulation and experiments of continuous casting with strip feeding in mold. *Metalurgia*, 56 (3): 315-318. <https://hrcak.srce.hr/180971>
- Sun, X., Li, B., Lu, H., Zhong, Y., Ren, Z. y Lei, Z. (2019). Steel/Slag Interface Behavior under Multifunction Electromagnetic Driving in a Continuous



Casting Slab Mold. *Metals*, 9 (9): 983.
<https://doi.org/10.3390/met9090983>

Vynnycky, M. (2019). Continuous Casting. *Metals*, 9 (6): 643.
<https://doi.org/10.3390/met9060643>

Wang, P., Zhang, Z., Zhan-peng, Z., Qi, M., Lan, P., Li, S., Yang, Z. y Zhang, J. (2019). Initial Transfer Behavior and Solidification Structure Evolution in a Large Continuously Cast Bloom with a Combination of Nozzle Injection Mode and M-EMS. *Metals*, 9 (10): 1083.
<https://doi.org/10.3390/met9101083>

Wu, H., Xu, Y., Huo, Z., Yue, F. y Lu, P. (2015). Physical modeling of oscillation Effect on fluid flow in mold. *Metalurgia*, 54 (3): 465-468.
<https://www.researchgate.net/publication/282203075>

Yan, X., Jia, B., Wang, Q., He, S. y Wang, Q. (2019). Mold nonsinusoidal oscillation mode and its effect on slag infiltration for lubrication and initial shell growth during steel continuous casting. *Metals*, 9 (4): 418.
<https://doi.org/10.3390/met9040418>

Zare, M., Meysami, A., Mahmoudi, S., Hajisafari, M. y MazarAtabaki, M. (2014). Simulation of fluid flow and solidification in the funnel type crystalizer of thin slab continuous cast. *Orient J Chem*, 29 (4): 2-6.
<http://dx.doi.org/10.13005/ojc/290408>

Zhang, W., Luo, S., Chen, Y., Wang, W. y Zhu, M. (2019). Numerical Simulation of Fluid Flow, Heat Transfer, Species Transfer, and Solidification in Billet Continuous Casting Mold with M-EMS. *Metals*, 9 (1): 66.
<https://doi.org/10.3390/met9010066>
 Pinto, A. H., Nogueira, A. E., Dalmaschio, C. J., Frigini, I. N., de Almeida, J. C., Ferrer, M. M., Berengue, O. M., Gonçalves, R. A., & de Mendonça, V. R. (2022). *Doped tin dioxide (d-SnO₂) and its nanostructures: Review of the theoretical aspects, photocatalytic and biomedical applications*. *Solids*, 3(2): 327–360.
<https://doi.org/10.3390/solids3020024>

Saeed, M., Muneer, M., Haq, A. U., & Akram, N. (2022). *Photocatalysis: An effective tool for photodegradation of dyes—a review*. *Environmental Science and Pollution Research International*, 29(1): 293–311. <https://doi.org/10.10>



07/s11356-021-16389-7

Salih, E. Y. (2024). *Opto-electrical evaluation of visible blind fast-response nanostructured SnO₂/Si photodetector*. *RSC Advances*, 14(38): 27733–27740. <https://doi.org/10.1039/d4ra05303f>

Shabna, S., Dhas, S. S. J., & Biju, C. S. (2023). *Potential progress in SnO₂ nanostructures for enhancing photocatalytic degradation of organic pollutants*. *Catalysis Communications*, 177: 106642. <https://doi.org/10.1016/j.catcom.2023.106642>

Sudapalli, A. M., & Shimpi, N. G. (2023). *Tetragonal SnO₂ Nanoparticles: An Efficient Photocatalyst for the Degradation of Hazardous Ionic Dyes*. *ChemistrySelect*, 8: e202203310. <https://doi.org/10.1002/slct.202203310>

Yepseu, A. P., Isac, L., Nyamen, L. D., Cleymand, F., Duta, A., & Ndifon, P. T. (2021). *Optical and Photocatalytic Properties of Cu xS/ZnO Composite Thin Films Deposited by Robotic Spray Pyrolysis Deposition*. *Journal of Nanomaterials*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/9975600>

Yıldırım, M. A., Akaltun, Y., & Ate, A. (2012). *Characteristics of SnO₂ thin films prepared by SILAR*. *Solid State Sciences*, 14(9): 1282–1288. <https://doi.org/10.1016/j.solidstatesciences.2012.07.012>



CienciAcierta

REVISIÓN DEL COMPORTAMIENTO TERMO FLUIDODINÁMICO DEL ACERO LÍQUIDO EN UN MOLDE DE COLADA CONTINUA

*REVIEW OF THE THERMOFLUID DYNAMIC BEHAVIOR OF THE LIQUID
STEEL IN A CONTINUOUS CASTING MOLD*

EDITH RAMOS CARDONA¹

ISMAEL CALDERÓN RAMOS²

ROMUALDO SERVÍN
CASTAÑEDA²

JORGE CARLOS RÍOS
HURTADO³

RESUMEN

Actualmente la producción de acero a nivel mundial se realiza mediante el proceso de colada continua, y es el molde el elemento más importante dentro de este proceso debido a que en su interior se llevan a cabo fenómenos de transporte de energía, masa y la solidificación del acero; dichos fenómenos impactan en productividad y en la calidad del producto final. La metodología de esta investigación consistió en revisar el estado del arte de los fenómenos más importantes que interactúan en el proceso: modelado de flujo fluido, obstrucción de la boquilla sumergida (SEN), flujo de fluidos dentro del SEN, turbulencia dentro del molde y perturbaciones en la superficie libre que afecta la interfaz acero/escoria y originan el atrapamiento de ésta. Este fenómeno influye directamente en los defectos superficiales e internos del producto final. Como resultado de esta revisión se encontró que el flujo del acero líquido dentro del molde puede controlarse a través de parámetros de diseño de la SEN y condiciones de operación del proceso. Este hecho es de gran importancia ya que, logrando un buen diseño es posible alimentar el acero líquido en el molde de forma adecuada, para conseguir un correcto inicio de capa

1 Centro de Estudios e
Investigaciones
Interdisciplinarias Unidad
Sureste, UadeC

2 Facultad de Ingeniería
Mecánica y Eléctrica, Unidad
Norte, UAdeC

3 Facultad de Metalurgia,
Unidad Norte, UAdeC.



CienciAcierta

solidificada y, posteriormente, su crecimiento con un espesor suficientemente grande (10-15 mm) para soportar las fuerzas ferrostática del acero líquido remanente en el centro cuando la tira sale del molde. Para observar y entender los fenómenos que suceden dentro del molde, todas las investigaciones existentes utilizan las variables del proceso, experimentación física y simulación numérica.

Palabras clave: molde colada continua, SEN, modelación física y simulación matemática.

Correspondencia
ramosedith@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0009-0003-4310-5144>

Fecha de recepción
15 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
29 de abril de 2025.

ABSTRACT

Currently, steel production worldwide is carried out through the continuous casting process; and the mold is the most important element within this process, because inside it phenomena of energy transport, mass and solidification of the steel are carried out; and these phenomena impact productivity and the quality of the final product. The methodology of this research consisted of reviewing the state of the art of the most important phenomena that interact in the process such as: fluid flow modeling, Submerged Nozzle Obstruction (SEN), fluid Flow within the SEN, Turbulence within the mold and disturbances in the free surface that affect the steel/slag interface and cause slag entrapment. The latter phenomenon directly influences the surface and internal defects of the final product. As a result of this review, it was found that the flow of liquid steel within the mold can be controlled through SEN design parameters and process operating conditions. This fact gives great importance to the SEN; since,

achieving a good design, it is possible to feed the liquid steel into the mold properly, to achieve a correct start of solidified layer and subsequently its growth with a thickness large enough (10-15 mm) to withstand the ferrostatic forces of the liquid steel remaining in the center when the strip leaves the mold. To observe and understand the phenomena that occur within the mold, all existing research uses process variables, physical experimentation and numerical simulation.

Keywords: *continuous casting mold, SEN, physical modeling and mathematical simulation.*

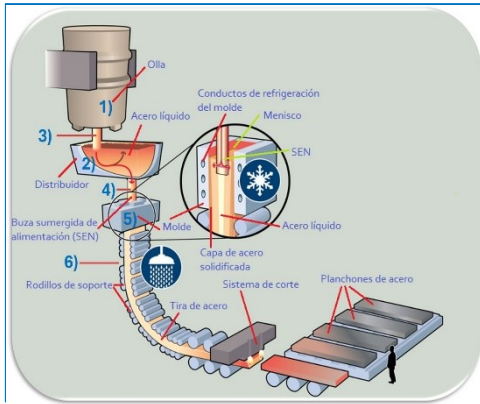
1. INTRODUCCIÓN

El proceso final dentro del departamento de acería en la industria siderúrgica es la colada continua. Dicho proceso consta de seis elementos principales: la olla con capacidad de entre 80 y 120 toneladas (1), con acero líquido a temperatura por encima de los 1340° C y con la composición química del acero ajustada; se coloca encima del distribuidor(2); posteriormente personal operativo coloca un conducto refractario llamado *ladle shroud* (3); el cual, sirve para alimentar el acero líquido de la olla hacia el distribuidor, que tiene solo una salida a la cual se le acopla un dispositivo refractario llamado SEN, por sus siglas en inglés *Submerged Entry Nozzle* (4). Dicho dispositivo sirve para alimentar de acero líquido al molde de planchón (5). Este molde es de una aleación especial de cobre (para mayor conductividad térmica) y en él se inicia la primera capa solidificada y su posterior crecimiento hasta su salida hacia el (6) enfriamiento secundario. Es decir, a la salida del molde la tira es recibida por una serie de rodillos que rocían agua para aumentar la extracción de calor y acelerar el crecimiento de la piel



solidificada hasta su totalidad. Después del enfriamiento secundario pasa al siguiente proceso llamado laminación.

La Figura 1, ilustra cada una de las partes principales que componen el proceso de colada continua.



El proceso de colada continua (PCC) es un método que permite transformar el acero líquido a sólido de manera continua y eficiente y su objetivo principal es extraer el

calor del acero líquido en un tiempo corto (González Rendón & Rangel Hernández, 2021). Uno de los elementos más importante dentro del PCC es el molde, ya que aquí es donde se

lleva a cabo la solidificación del acero y los fenómenos que influyen en su proceso tienen gran impacto en la productividad y la calidad del producto final. Muchos de los fenómenos que se presentan suelen ser atribuidos al deficiente control del flujo de acero líquido en el molde (Romo Castañeda, 2011).

Figura 1. Principales partes del proceso de colada continua (Calderón, 2015).

El PCC implica una complejidad metalúrgica, la cual conlleva a grandes desafíos para entender, evaluar y optimizar. Todavía quedan muchos retos por superar en este campo de investigación (Javurek y col., 2022). Por lo tanto, este trabajo se enfoca en la revisión de las investigaciones que tratan del comportamiento del flujo de acero líquido en el molde. Ya que este afecta negativamente la transferencia de calor homogénea y por consecuencia a la correcta formación microestructural y la calidad

El PCC implica una complejidad metalúrgica, la cual conlleva a grandes desafíos para entender, evaluar y optimizar. Todavía quedan muchos retos por superar en este campo de investigación (Javurek y col., 2022). Por lo tanto, este trabajo se enfoca en la revisión de las investigaciones que tratan del comportamiento del flujo de acero líquido en el molde. Ya que este afecta negativamente la transferencia de calor homogénea y por consecuencia a la correcta formación microestructural y la calidad

El PCC implica una complejidad metalúrgica, la cual conlleva a grandes desafíos para entender, evaluar y optimizar. Todavía quedan muchos retos por superar en este campo de investigación (Javurek y col., 2022). Por lo tanto, este trabajo se enfoca en la revisión de las investigaciones que tratan del comportamiento del flujo de acero líquido en el molde. Ya que este afecta negativamente la transferencia de calor homogénea y por consecuencia a la correcta formación microestructural y la calidad



interna y superficial del producto final.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Con la finalidad de conocer los avances actuales sobre esta línea de investigación. Este escrito recopila las principales aportaciones realizadas hasta la fecha, y para facilitar la lectura se analizó discutió por subtemas que abordan los fenómenos principales por separado desde distintos puntos de interés.

3. DESARROLLO Y DISCUSIÓN

3.1 MODELADO DE FLUJO DE FLUIDOS

Las investigaciones que se realizan del flujo de acero líquido en el molde están muy relacionadas con boquillas SEN. Su diseño permite la entrada del acero líquido de manera controlada en el molde, ayudando a prevenir problemas como la oxidación del acero líquido y la turbulencia generada al interior del molde por los puertos de descarga, (Figura 2). Estas reducen la agitación y mejora la calidad del producto final. Se han llevado a cabo utilizando modelos tridimensionales con CFD (modelo de dinámica de fluidos computacionales) (González-Solórzano y col., 2020; Yuan y col., 2005).



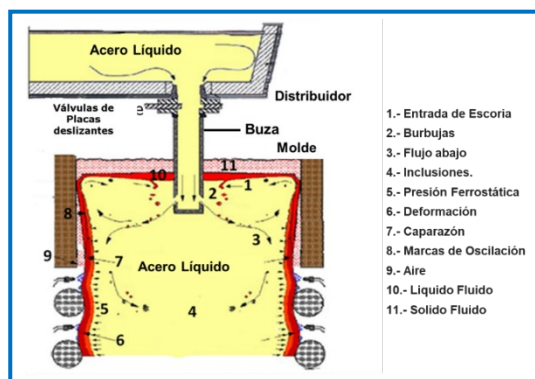


Figura 2. Fenómenos de flujo de fluido en la región del molde de una fundición de losa de acero. Reproducido con permiso (Romo Castañeda 2011) TMS

El carácter especial indica la significancia estadística. *Chi-cuadrada de Pear-son valor, 3.935, valor significativo, $p < 0.05$, **Prueba Exacta de Fisher 1.163, valor no significativo, $p > 0.05$, ***Chi-cuadrada de Pearson valor, 15.400, valor significativo, $p < 0.05$

Con ayuda de los modelos de turbulencia $k-\epsilon$ y modelo de simulación de grandes remolinos (LES) se recrean los efectos antes mencionados con una gran resolución y buena concordancia comparando las mediciones en planta. Cuando el proceso incluye la inyección de gas argón para prevenir el taponamiento de la SEN introduce complejidades adicionales y, para hacer frente a este reto, el modelo numérico se vuelve más robusto por la necesidad de utilizar modelos multifásicos, como VOF (método de volumen de fluido) y euleriano-euleriano para simular la interacción entre las diferentes fases.

3.2. OBSTRUCCIÓN DE BOQUILLA (PCC)

El fenómeno de obstrucción del SEN en el flujo de acero líquido durante la colada continua se refiere a la acumulación de material que interfiere con el flujo normal del acero líquido a través de la SEN (Figura 3). Esta obstrucción puede tener consecuencias significativas para la calidad del acero producido y para la eficiencia en el proceso (Chatterjee, 2013). Debido a que se modifica la geometría interna de la SEN, el flujo de acero líquido



dentro del molde es afectado y es impredecible el comportamiento que este desbalance provoca. Sin lugar a duda el aumento del nivel de turbulencia, la incorrecta transferencia de calor, las perturbaciones en la superficie libre y el crecimiento de la piel solidificada son afectadas de manera negativa (Chatterjee, 2013). Algunos diseños de SEN con geometría interna compleja y tienden a ser más susceptibles al taponamiento (Thomas 2001).

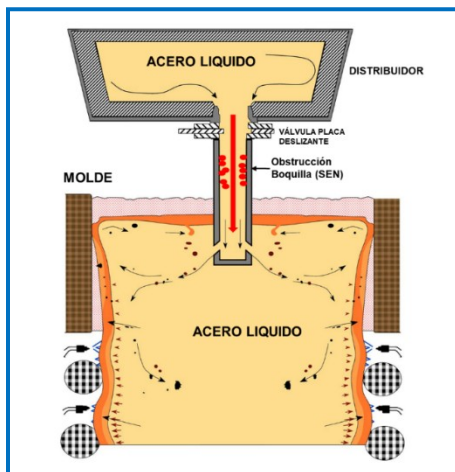


Figura 3. Obstrucción en Boquilla SEN en molde de acero líquido de colada continua

La obstrucción de las boquillas ha sido investigada utilizando modelos numéricos para simular el fenómeno de incrustación de la inclusión. Una de las investigaciones (González-Solórzano y col., 2020; Gutiérrez y col., 2018; Mizobe y col., 2018) consistió en analizar el fenómeno de obstrucción en la SEN, donde diseñaron un perfil óptimo de los orificios de la boquilla superior de la artesa

(TD) como para la boquilla de entrada sumergida (SEN) para disminuir la turbulencia con alta energía cinética que se genera en el flujo acero líquido. Para lograr esto se realizó un análisis de flujo utilizando dinámica de fluidos computacional (CFD) así como modelos de agua, donde se revisa la influencia de la energía que genera la turbulencia en la SEN, provocando las inclusiones, también se comparó la relación entre la energía cinética turbulenta calculada y rendimiento considerando la velocidad del flujo (Mizobe y col., 2018). También existen estudios del comportamiento en el flujo del acero líquido como la velocidad y la

presión combinado con un método modelado de partículas (DPM) que trata las partículas como entidades discretas que se mueven a través de un fluido, calculando sus trayectorias y fuerzas que actúan sobre ellas. La obstrucción también puede ser causada con inclusiones de alúminia donde se concluye que, al llegar a la pared de la SEN, se depositan de manera no uniforme, con tamaños mayores suelen presentar baja deposición de inclusiones a diferencia de los menores donde no mostro cambio significativo (Gutiérrez y col., 2020). Para el estudio de flujo las cámaras o deflectores reducen la obstrucción en las paredes internas de SEN, redirigiendo el flujo de acero líquido promoviendo un movimiento más uniforme, favoreciendo la uniformidad de la velocidad del flujo y la energía cinética turbulenta, y promoviendo un flujo más estable en los puertos de descarga de la SEN (Xuan y Chen, 2021). La reoxidación también puede causar obstrucción por inclusiones ya que, durante el proceso de colada continua, el acero líquido puede entrar en contacto con el oxígeno del aire, lo que puede llevar a la formación de óxidos y otras inclusiones no metálicas se acumulan en las paredes internas del SEN, provocando obstrucciones que alteran el flujo del acero (Meléndez y col., 2010). han realizado otros estudios donde el modelado de la distribución de presión dentro del SEN es crucial para entender el comportamiento del flujo de acero líquido durante el proceso de colada continua ya que la presión dentro se ve influenciada por factores, en los que se incluye la velocidad del flujo, la geometría de la SEN y las propiedades del acero líquido e identificando puntos críticos donde puede haber riesgos de obstrucción o inclusiones. En estos estudios se utiliza CFD para predecir estas distribuciones de presión. Donde se encontró que la presión se puede bajar disminuyendo la profundidad de la TD, así como los diámetros del orificio interior de la SEN, o aumentando el caudal del gas argón, lo



que hace que el control de flujo de acero líquido se abra más, lo que disminuye la caída de presión local (González Rendón & Rangel Hernández, 2021; Meléndez et al., 2010)

3.3 FLUJO DE FLUIDOS DENTRO DE LA SEN

La turbulencia es un fenómeno crítico dentro del molde ya que puede llevar al arrastre de escoria e inclusiones no metálicas lo que afecta a las propiedades mecánicas del acero líquido (Calderón-Ramos y col., 2019; Gutiérrez y col., 2020). Este patrón de flujo es muy influenciado por la geometría de la SEN y los puertos del SEN, ya el tamaño del puerto debe ser cuidadosamente considerado ya que por los puertos grandes pueden compensar los efectos de obstrucción por alúmina, también pueden generar flujos de recirculación y turbulencia. La profundidad de inmersión de la SEN generalmente reduce la turbulencia en el menisco, sin embargo, la profundidad óptima puede variar dependiendo del diseño de la SEN y otros parámetros del proceso (Cho y col., 2019). El control de flujo de argón ya que se inyecta en el SEN previene obstrucciones y controla el flujo de acero líquido al molde, optimizando el caudal del argón y su posición mejora la estabilidad del flujo (Calderón-Ramos y col., 2019; Cho y col., 2019)

Los estudios que se han realizado sobre el flujo de fluido en la boquilla y el molde de acero de colada continua se han llevado a cabo CFD y han sido objeto de revisiones anteriores (Calderón-Ramos y col., 2019; Calderón-Ramos y Morales, 2015; Garoosi y Hooman, 2022; González-Solórzano y col., 2020). Las variables que produce el flujo de acero líquido dentro de la boquilla SEN, se han calculado resolviendo ecuaciones tridimensionales de Navier Stokes para lograr un equilibrio de masa. La turbulencia, se modela resolviendo ecuaciones diferenciales de energía cinética, tasa de



disipación de turbulencia y diagramas de flujo promediando el tiempo (Calderón-Ramos y col., 2019; Calderón-Ramos y Morales, 2015). Otros estudios que se han realizado respecto a la turbulencia son técnicas como la velocimetría por imagen de partículas (PIV) para caracterizar la turbulencia en el flujo. Esto permitió identificar los picos de velocidad y la intensidad de la turbulencia, proporcionando datos cuantitativos que pueden guiar el diseño de la SEN (Calderón-Ramos y col., 2019; Mizobe y col., 2018)

3.4 TURBULENCIA EN SUPERFICIE LIBRE

La turbulencia dentro del molde de colada continua es un fenómeno que influye en la calidad y en la eficiencia del proceso del acero. Esta es generada por varios factores como; la entrada del acero líquido a alta velocidad, el diseño de la boquilla SEN y la geometría del molde. Estas condiciones pueden provocar fluctuaciones en la velocidad y la presión del flujo afectando directamente a la operación (Calderón-Ramos y Morales, 2015). La turbulencia en exceso puede llevar a la introducción de inclusiones de escoria u oxígeno en el acero, lo que puede afectar negativamente sus propiedades mecánicas, de igual manera los flujos turbulentos pueden causar erosión en las paredes del molde, reduciendo su vida útil y aumentando los costos de mantenimiento (Javurek y col., 2022). Algunas investigaciones se han enfocado en el diseño de la SEN y se ha comprobado que han ayudado a bajar la turbulencia, mediante la realización de estudios de análisis matemáticos, pruebas físicas para comparar el diseño original de la SEN con un diseño mejorado (Calderón-Ramos y col., 2019; Calderón-Ramos y Morales, 2015), se emplean modelos de agua a escala real, técnicas de velocímetro por imágenes de partículas (PIV), inyecciones de trazadores y sensores ultrasónicos para estudiar los patrones de flujo del acero líquido



(Calderón-Ramos y col., 2019; Cho y col., 2019). Las pruebas muestran un patrón de flujo de acero líquido y simétrico, mejorando el control del acero líquido en el molde y reduciendo las oscilaciones y la formación de vórtices. Los vórtices es otro factor que genera turbulencia ya al formar remolinos por el movimiento, pueden influir en la estabilidad del nivel de flujo en la superficie del molde. La geometría de la SEN y la configuración de las entradas del molde generan vórtices, ya que arrastran inclusiones no metálicas o burbujas de gas hacia el centro o la superficie del acero líquido, lo que lleva a la formación de defectos internos o superficiales, así como fluctuaciones en el nivel del baño de acero líquido (Javurek y col., 2022; Morales y col., 2013; Real-Ramírez y col., 2021).

3.5 INTERFAZ ACERO/ESCORIA

Un aspecto crítico en el flujo de acero líquido en el molde es el perfil de la interfaz entre el acero líquido y las capas de escoria en la superficie superior del molde. Esta interfaz es clave para el proceso de enfriamiento y la eliminación de impurezas no metálicas. La escoria forma una capa en la superficie del acero líquido que actúa como un aislante térmico, protegiendo el acero del enfriamiento rápido y de la oxidación del baño metálico. Ésta se infiltra en el espacio que existe entre las paredes del molde y el baño metálico (Figura 4) cumpliendo la función de lubricante y en conjunto con la oscilación del molde evitar atascos y mejora el acabado superficial del semi producto. Además, la capa de escoria ayuda al atrapamiento de las inclusiones no metálicas que provienen del distribuidor para evitar que se puedan incorporar al acero solidificado (Hibbeler y Thomas, 2013).

El atrapamiento de escoria ocurre por un efecto de desprendimiento, que se genera en la esquina superior del molde



a lo cual llamamos menisco, debido a que la velocidad del flujo de acero que proviene de la cara estrecha del molde es mucho mayor que la que tiene la escoria, como se puede ver en la (Figura 4).

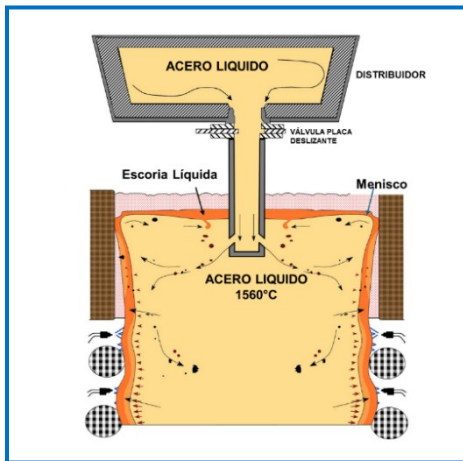


Figura 4. Acero líquido y las capas de escoria en la superficie superior del molde (Yang et al.,

La forma del perfil de la interfaz entre la escoria y el acero, las fluctuaciones de nivel y el arrastre de escoria se pueden modelar con métodos de superficie libre, como la cuadrícula móvil, VOF u otros métodos de seguimiento de la interfaz (Li y col., 2021). La composición de la escoria y las reacciones en la interfaz influyen en la limpieza del acero líquido, la formación de defectos superficiales y las propiedades del producto final (Hibbeler y Thomas, 2013; Yang y col., 2019).

3.6 ATRAPAMIENTO DE ESCORIA

Las vibraciones mecánicas del molde generan ondas en la superficie del acero líquido, afectando el menisco (primera capa de solidificación) (González Rondón y Rangel Hernandez, 2021). Esto provoca que la solidificación no sea uniforme y se formen ganchos que actúan como trampas para la escoria, quedando atrapadas entre el gancho y la pared del molde. Esta escoria atrapada de inclusiones no metálicas debilita el material provocando grietas y; genera defectos superficiales (González Rendón & Rangel Hernández, 2021). El atrapamiento de escoria es una de las principales fuentes de inclusiones en el producto final y esto perjudica la limpieza del acero líquido en el molde de

colada continua. Los mecanismos que los provocan son: fluctuaciones en el nivel de la superficie en el molde, enfriamiento del menisco, vórtices e inestabilidad de la interfaz (Hibbeler Lance C. & Thomas Brian G, 2013).

Los mecanismos de atrapamiento de escoria reportados son: inestabilidad de la capa, vórtices e incisión de flujo ascendente. Los cuales tienen las siguientes particularidades:

Inestabilidad de la capa: el atrapamiento de escoria dentro del flujo líquido de acero es provocada por la inestabilidad de la interfase metal/escoria debido a los movimientos que se generan entre el baño metálico y la escoria fundida. Estas están ubicadas en las depresiones de la superficie libre, donde la velocidad alcanzada genera magnitudes a medio camino entre la pared angosta del molde y la pared (Morales y col., 2013).

Vórtices: los flujos asimétricos en la superficie libre, causan un choque entre dichos flujos generando así los flujos remolino (vortex), estos atrapan la escoria y la arrastran al interior del líquido metálico, generando inclusiones no metálicas dentro del producto final (Morales y col., 2013).

Incisión del flujo ascendente: Dentro del flujo se generan corrientes ascendentes a lo largo de las paredes angostas del

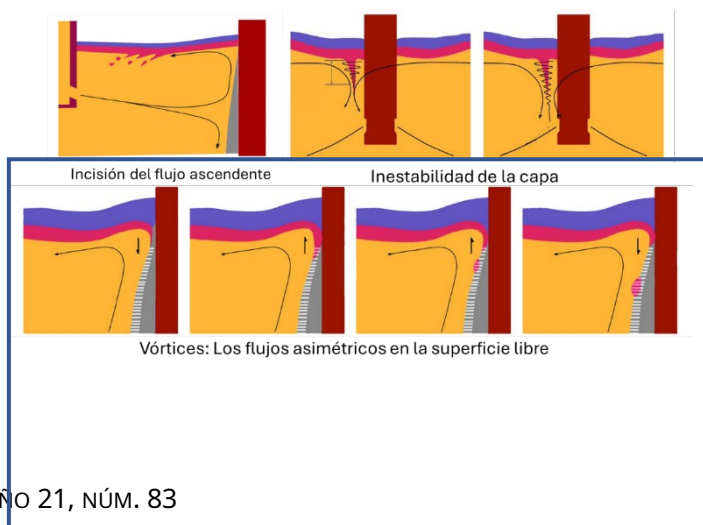


Figura 5.
Principales
mecanismos de
atrapamiento de
escoria.
Reproducido con
permiso
(Calderón, 2015).

molde y estas dan como resultado la generación de un patrón de flujo de doble recirculación (DRF) de alta velocidad. Este fenómeno tiene el comportamiento de atrapar escoria por efecto de corte y arrastre. La Figura 5, muestra un esquema de los tres mecanismos.

Se han estudiado los atrapamientos de escoria con métodos avanzados como modelos computacionales para simular el flujo de acero líquido y escoria en el molde, pudiendo observar la formación y el movimiento de la escoria (Thomas y Liu, 2023). También se examinan las inclusiones de escoria en el acero solidificado mediante técnicas de microscopía y análisis químico para determinar su origen y características. Se emplean técnicas como la radiografía y la tomografía computarizada para observar el flujo de acero líquido y escoria en el molde durante la colada continua en tiempo real. Así como simulaciones matemáticas utilizando ecuaciones que describen el comportamiento del acero líquido y la escoria en el molde, incluyendo factores como la tensión superficial, la viscosidad y la densidad (Calderón-Ramos et al., 2019; Yang et al., 2019; Yuan et al., 2005).

3.7 PRINCIPALES DEFECTOS EN COLADA CONTINUA

Un defecto en el PCC se refiere a cualquier irregularidad o imperfección que surge durante la solidificación y el enfriamiento del acero líquido, lo que resulta en una desviación de las propiedades o dimensiones deseadas del producto final (Brimacombe y Sorimachi, 1997). Existen muchas reseñas que hablan del origen de los defectos y estrategias que utilizan y pueden impactar en la reducción de estos. Los principales defectos que se pueden encontrar en el proceso de colada continua son: grietas transversales, afectan la calidad superficial, así como la rotura del material, las causas principales son el roce entre la piel



solidificada del acero y la pared del molde, ya que se genera resistencia del acero líquido a altas temperaturas y provoca la formación de grietas, así como la oscilación del molde y el enfriamiento no uniforme donde se pueden generar tensiones térmicas que propicien la aparición de grietas (Brimacombe y Sorimachi, 1997; Clyne y col., 1982). También las inclusiones no metálicas en el acero líquido actúan como puntos de concentración de tensiones, favoreciendo la nucleación de grietas. Diferentes estudios han concluido que un buen sistema de lubricación en el molde reduce la fricción y las tensiones asociadas. Esto se puede lograr mediante el uso de polvos fundentes de alta calidad y un control adecuado en su aplicación. Así como ajustar la frecuencia, amplitud de la oscilación del molde y control en el enfriamiento de para reducir las tensiones térmicas y flujo de agua (Brimacombe y Sorimachi, 1997; Meng y Thomas, 2003). Dentro de los defectos que se presentan podemos mencionar grietas longitudinales, generadas por condiciones en el molde, como altas temperaturas que provoca tensiones térmicas, tensiones generadas durante el enderezamiento y la extracción, enfriamiento no uniforme, la composición química del acero por ciertos elementos de aleación, así como inclusiones no metálicas con puntos de concentración de tensiones (Meng y Thomas, 2003). Algunas investigaciones han concluido, que el diseño y ajuste en el molde garantiza el enfriamiento uniforme, reduce el enfriamiento en las zonas de rociado superiores, controla la oscilación del molde, así como la composición química del acero y minimización de inclusiones.

Los defectos de porosidad se refieren a la presencia de vacío o burbujas de gas argón atrapados en el metal solidificado, causados por absorción de gases del ambiente, reacciones



químicas y turbulencias en el flujo del acero líquido (Clyne y col., 1982; Meng y Thomas, 2003). Otro defecto es el de segregación, se produce cuando existe una distribución no uniforme de los elementos químicos en el material solidificado; existen dos tipos de segregación: macro y micro, causados por la alimentación de la contracción por solidificación, los gradientes térmicos y solubles en el líquido, la fuerza impulsada por la flotabilidad, la velocidad de colada y el movimiento de granos equiaxiales debido a la nucleación heterogénea, entre otras. Para la prevención de estos defectos se han llevado a cabo estudios que utilizan simulaciones matemáticas y consideran variables tales como composición química del acero, temperatura, velocidad de colada, geometría del molde y condiciones de enfriamiento. También se han apoyado en la simulación numérica como la dinámica de fluidos computacional (CFD), que se utiliza para analizar el flujo del metal líquido en el molde, la solidificación y la formación de defectos. Esto permite optimizar el diseño y los parámetros del proceso para minimizar la aparición de defectos (Brimacombe y Sorimachi, 1997; González-Solórzano y col., 2020; Morales y col., 2013).

Con la finalidad de resaltar la importancia de estudiar, entender y aplicar el conocimiento se mostrarán métricas de defectos comunes en colada continua proveniente de una importante empresa del norte del país (Figuras 6-8).



Figura 6. Defectos superficiales e internos en el proceso de colada continua.



Figura 7. Defectos Superficiales de impacto en una acerera.



Figura 8. Defectos Interno de impacto en una acerera.

Resolver los defectos superficiales e Internos en el proceso de colada continua trae consigo una serie de beneficios significativos que impactan la calidad del producto, la eficiencia del proceso y los costos de producción. Aproximadamente estos defectos provocan una pérdida sustancial para las organizaciones de 40 dólares por tonelada (gas natural, oxígeno, materiales de mantenimiento y materiales de operación principalmente). Esto representa una pérdida mensual promedio de 2 millones 598 mil 422 y anual de 31 millones 181 mil 064.



4. CONCLUSIONES

El presente trabajo realiza una revisión bibliográfica sobre los fenómenos más importantes que tienen lugar en el proceso de colada continua. Siendo el flujo de fluidos el fenómeno que domina al resto; es decir, el flujo del acero líquido dentro del molde y a través de la SEN promoverá, disminuirá o eliminará los fenómenos de obstrucción de la SEN, el nivel de turbulencia dentro del molde, las perturbaciones en la superficie libre que origina el atrapamiento de escoria y/o burbujas de gas argón y el gradiente térmico en las distintas zonas de extracción de calor en el molde que son el origen de la formación de grietas longitudinales, transversales y de estrella. Para lograr observar y entender los fenómenos que suceden dentro del molde, es necesario involucrar las variables del proceso, experimentación física y simulación numérica. El moldeado físico se utiliza para recrear el fenómeno y gracias a que es a nivel laboratorio, nos es posible obtener información cualitativa y cuantitativa, Mientras que la simulación numérica nos brinda la oportunidad de visualizar y medir variables que no es posible obtener de manera directa en la modelación física (campos de velocidad, gradientes térmicos, cambios de densidad, zonas de turbulencia, entre otras). Por último, las mediciones en planta son el patrón para validar los resultados de la simulación numérica y los valores medidos en la experimentación física. En el presente caso, este grupo de investigación tiene los tres elementos antes mencionados para visualizar, experimentar y validar el desempeño de un par de SEN. Esto con la finalidad de controlar el flujo de fluidos dentro del molde; pues, este fenómeno rige a los demás.

REFERENCIAS

- Brimacombe, J. K., & Sorimachi, K. (1997). Crack Formation in the Continuous Casting of Steel. *Metallurgical Transactions B*, 8B: 498–500.
- Calderón-Ramos, I., & Morales, R. D. (2015). The Role of Submerged Entry Nozzle Port Shape on Fluid Flow Turbulence in a Slab Mold. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 46(3): 1314–1325. <https://doi.org/10.1007/s11663-015-0333-y>
- Calderón-Ramos, I., Morales, R. D., Servín-Castañeda, R., Pérez-Alvarado, A., García-Hernández, S., De Jesús Barreto, J., & Arreola-Villa, S. A. (2019). Modeling study of turbulent flow in a continuous casting slab mold comparing three ports SEN designs. *ISIJ International*, 59: 76–85. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-504>
- Chatterjee, D. (2013). CFD Model Study of a New Four-Port Submerged Entry Nozzle for Decreasing the Turbulence in Slab Casting Mold. *ISRN Metallurgy*, 2013: 1–6. <https://doi.org/10.1155/2013/981597>
- Cho, S. M., Thomas, B. G., & Kim, S. H. (2019). Effect of Nozzle Port Angle on Transient Flow and Surface Slag Behavior During Continuous Steel-Slab Casting. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 50(1): 52–76. <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1439-9>
- Clyne, T. W., Wolf, M., & Kurz, W. (1982). The Effect of Melt Composition on Solidification Cracking of Steel, with Particular Reference to Continuous Casting. *Metallurgical Transactions B*, 13 B: 263-264.
- Garoosi, F., & Hooman, K. (2022). Numerical simulation of multiphase flows using an enhanced Volume-of-Fluid (VOF) method. *International Journal of Mechanical Sciences*, 215: 106956.



<https://doi.org/10.1016/J.IJMECSCI.2021.106956>

González Rendón, Yordy., & Rangel Hernández, J. E. (2021). Comportamiento termo fluidodinámico del acero en un molde de colada continua. *TecnoLógicas*, 24 (51): e1856. <https://doi.org/10.22430/22565337.1856>

González-Solórzano, M. G., Morales, R. D., Gutiérrez, E., Guarneros, J., & Chattopadhyay, K. (2020). Analysis of Fluid Flow of Liquid Steel through Clogged Nozzles: Thermodynamic Analysis and Flow Simulations. *Steel Research International*, 91(11): 6–8. <https://doi.org/10.1002/srin.202000049>

Gutiérrez, E., De Jesús Barreto, J., García Hernandez, S., Morales, R., & González Solorzano, M. G. (2020). Decrease of nozzle clogging through fluid flow control. *Metals*, 10(11): 1–19. <https://doi.org/10.3390/met10111420>

Gutiérrez, H. A., Cardiel, G. B., & García, R. E. (2018). Simulación matemática para la optimización del patrón de flujo entregado por una buza para el molde de colada continua de planchón delgado. *Revista Materia*, 23(2): 2–3. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620180002.0447>.

Hibbeler Lance C., & Thomas Brian G. (2013). Mold Slag Entrainment Mechanisms in Continuous Casting Molds. *Iron and Steel Technology*, 10: 121-136. https://ccc.illinois.edu/PDF%20Files/Publications/2013%20papers/8.14_%20Hibbeler%20Mold%20Slag%20Entrainment%20Oct13%20pp121-136.pdf

Javurek, M., Brummayer, M., & Wincor, R. (2022). Turbulent flow measurements in continuous steel casting mold water model. *Materials Today: Proceedings*, 62: 2581–2586. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.605>

Li, X., Li, B., Liu, Z., Wang, D., Qu, T., Hu, S., Wang, C., & Gao, R. (2021). Evaluation of Slag Entrapment in Continuous Casting Mold Based on the LES-VOF-DPM Coupled Model. *Metallurgical and Materials Transactions B: Process Metallurgy and Materials Processing Science*, 52(5): 3246–3264. <https://doi.org/10.1007/s11663-021-02253-z>

Melendez, A. J., Carlson, K. D., & Beckermann, C. (2010). Modelling of reoxidation



CienciAcierta

inclusion formation in steel sand casting. *International Journal of Cast Metals Research*, 23(5): 278–288.
<https://doi.org/10.1179/136404610X12693537269976>

Meng, Y. A., & Thomas, B. G. (2003). Modeling Transient Slag-Layer Phenomena in the Shell/mold Gap in Continuous Casting of Steel. *Metallurgical and Materials Transactions*, 34B: 708–725.

Mizobe, A., Kurisu, J., & Ueki, M. (2018). Computer analysis of molten steel flow and application to design of nozzles for continuous casting system. *Application and Theory of Computer Technology*, 2(4): 36.
<https://doi.org/10.22496/atct.v2i4.115>

Morales, R. D., Dávila-Maldonado, O., Calderón, I., & Morales-Higa, K. (2013). Physical and mathematical models of vortex flows during the last stages of steel draining operations from a ladle. *ISIJ International*, 53(5): 782–791. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.53.782>

Real-Ramírez, C. A., Carvajal-Mariscal, I., Miranda-Tello, J. R., González-Trejo, J., Gabbasov, R., Sánchez-Silva, F., & Cervantes-de-la-Torre, F. (2021). Visualization and measurement of turbulent flow inside a Submerged Entry Nozzle and off the ports. *Revista Mexicana de Física*, 67(4): 1-10.
<https://doi.org/10.31349/REVMEXFIS.67.040601>

Romo Castañeda, J. (2011), “Estudio de la formación de especies mineralógicas en el molde de colada continua de planchón delgado de acero”, (Tesis de maestría), Instituto politécnico nacional. Ciudad de México.

Thomas, B.G., y Zhang, L. (2001). Modelado matemático de los procesos de fabricación de hierro y acero. Modelado matemático del flujo de fluidos en la colada continua. *ISIJ International*, 41(10): 1181–1193.
<https://doi.org/10.2355/isijinternational.41.1181>

Xuan, M., & Chen, M. (2021). Optimal design of the submerged entry nozzle for thin slab continuous casting molds. *Metals*, 11(8): 2.
<https://doi.org/10.3390/met11081223>

Yang, H., Vanka, S. P., & Thomas, B. G. (2019). Mathematical modeling of multiphase flow in steel continuous casting. *ISIJ International*, 59(6): 956–



972. <https://doi.org/10.2355/isijinternational.ISIJINT-2018-743>

Yuan, Q., Zhao, B., Vanka, S. P., & Thomas, B. G. (2005). Study of computational issues in simulation of transient flow in continuous casting. *Steel Research International*, 76(1): 33–43. <https://doi.org/10.1002/srin.200505970>



CienciAcierta