



CienciAcierta^{DR}

AÑO 21, NÚMERO 84

ISSN: 2683-1848

OCTUBRE-DICIEMBRE 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. 84 OCTUBRE-DICIEMBRE 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 1º DE OCTUBRE 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: CIENCIAS NATURALES Y EXACTAS; INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA; MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD; CIENCIAS SOCIALES Y DEL COMPORTAMIENTO; HUMANIDADES Y ARTE; CIENCIAS ADMINISTRATIVAS Y DE GESTIÓN; Y ARQUITECTURA, URBANISMO Y DISEÑO.

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

DIVULGACIÓN CIENTÍFICA-DIP
logiln@uadec.edu.mx

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

josegonzaleztovar@uadec.edu.mx

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

Centro de Investigación

Alimentación y Desarrollo,

México



CienciAcierta

lhuesca@ciad.mx

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

ÍNDICE

ARTÍCULOS DE INVESTIGACIÓN

- BRECHA SALARIAL DE GÉNERO EN EL TRABAJO DIGITAL EN MÉXICO DE 2005 A 2023** **6**
GENDER WAGE GAP IN DIGITAL WORK IN MEXICO FROM 2005 TO 2023
Angelina Claudia Sobrado Luna y Reyna Elizabeth Rodríguez Pérez
- FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INGESTA EMOCIONAL DE ALIMENTOS EN ESTUDIANTES DE LICENCIATURAS DEL ÁREA DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA** **21**
FACTORS THAT INFLUENCE EMOTIONAL FOOD INTAKE IN BACHELOR'S STUDENTS IN THE HEALTH AREA OF THE AUTONOMOUS UNIVERSITY OF COAHUILA
Luis Ervey Chacón Garza, Lizzete Anabel Aguilar Zapata, Ana Sofía Torralba Hernández, Erika Nohemí Rivas Martínez y Grethel Días Palafox
- EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO DE SALTILLO, COAHUILA MEDIANTE TÉCNICAS DE UMBRALIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES** **41**
ASSESSMENT OF URBAN GROWTH IN SALTILLO, COAHUILA USING SATELLITE IMAGE THRESHOLDING TECHNIQUES
Fernando Clemente Covarrubias Velázquez, Jorge Sebastián Fuentes De la Cruz, Josué Gómez Casas, Carlos Alberto Toro Arcila, Jesús Salvador Galindo Valdés, César Carrillo Hernández, Jonathan Sebastián Obregón Flores y Daniela Estefanía Ortiz Ramos
- ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE QUINOLONAS ($C_{12}H_{12}N_2O_3$) COMO CONTAMINANTES EMERGENTES EN MEDIO ACUOSO UTILIZANDO ARCILLAS ANIÓNICAS Mg/Fe/Al- CO_3 COMO ADSORBENTES** **58**
STUDY OF THE REMOVAL OF QUINOLONES ($C_{12}H_{12}N_2O_3$) AS EMERGING CONTAMINANTS IN AQUEOUS MEDIA USING Mg/Fe/Al- CO_3 ANIONIC CLAYS AS ADSORBENTS
Martha Angélica Lemus Solorio, José Luis Rivera Rojas, Roberto Guerra González, Bryan Angel Zárate Verduzco, María Esther Cárcamo Escalera, Omar Alfonso Farías Valle y Alfonso Lemus Solorio
- DESCIFRANDO LA INCERTIDUMBRE: UN VIAJE A TRAVÉS DE LA ENTROPÍA DE SHANNON, LA MECÁNICA LAGRANGIANA Y LA CONFIABILIDAD** **79**
DECODING UNCERTAINTY: A JOURNEY THROUGH SHANNON ENTROPY, LAGRANGIAN MECHANICS AND RELIABILITY
Octavio Pérez Gómez Gaona, Luisa Alejandra Ramírez Delgado, David Salvador González González y José J. Cedillo Portillo
- MEZCLAS DE PVA/ GELATINA Y NANOPARTÍCULAS PROPIEDADES Y APLICACIONES** **93**
PVA/GELATIN AND NANOPARTICLES MIXTURES, PROPERTIES, AND APPLICATIONS
Lessli Aneth Guerrero Dimas, Adalí Oliva Castañeda Facio, Aidé Saéenz

Galindo, Abril Fonseca García y Ramón Enrique Díaz De León Gómez

PANORAMA ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS: UNA BREVE REVISIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LAS HUMANIDADES EN LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR **108**

CURRENT PANORAMA AND FUTURE PERSPECTIVES: A BRIEF REVIEW OF THE INTEGRATION OF HUMANITIES IN UPPER SECONDARY EDUCATION

Alma Patricia Flores Rodríguez y Ricardo Reyna Martínez

MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA EN UN LÁTEX BASE AGUA **120**

MODELING OF THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF POLYMER PARTICLES IN A WATERBORNE LATEX

Porfirio López Domínguez, Iván Zapata González, Esther Treviño Martínez y Enrique Saldívar Guerra

DE RESIDUOS ORGÁNICOS A LA ALTA COCINA: LOS HONGOS COMESTIBLES QUE TRANSFORMAN LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE **132**

FROM ORGANIC RESIDUES TO HAUTE CUISINE: THE EDIBLE MUSHROOMS THAT TRANSFORM SUSTAINABLE AND SUSTAINABLE FOOD

Alejandra Rendón Benjumea, Mario Alberto Cruz Hernández, Araceli Loredó Treviño, Rosa María Rodríguez Jasso, Héctor Arturo Ruiz Leza y Ruth Elizabeth Belmares Cerda

REPORTE DE CASO

HEMICOREA SECUNDARIA A HIPERGLUCEMIA NO CETÓSICA. REPORTE DE CASO **144**

NON-KETONIC HYPERGLYCEMIC HEMICHOREA. A CASE REPORT

Jorge Alberto Ríos Duarte, María Teresa Nava Muñoz, Alejandra Sánchez Santos y Eva Abigail Galindo Calvillo

REVISIÓN DE LITERATURA

NANOESTRUCTURAS DE PELÍCULAS DELGADAS DE CuO/ZnO Y SU APLICACIÓN EN LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA, UNA REVISIÓN **152**

CuO/ZnO thin film nanostructures and their application in photocatalytic activity, a review

Gerardo Rodríguez Jiménez, Víctor Hugo Martínez Landeros, Lázado Abdiel Falcón Franco y Luis Alfonso García Cerda

UNA REVISIÓN DE LA METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX **166**

A REVIEW OF THE METALLURGY OF DUPLEX STAINLESS STEELS

Carla Estefanía Contreras Valdés, Marco Arturo García Rentería y Víctor Hugo López Morelos

REVISIÓN DEL USO DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN LA SOLDADURA **180**

REVIEW OF THE USE OF MAGNETIC FIELDS IN STEEL WELDING

Giovanna Rodríguez Hernández y Ventura Lilia Cruz Hernández



CienciAcierta

BRECHA SALARIAL DE GÉNERO EN EL TRABAJO DIGITAL EN MÉXICO DE 2005 A 2023

GENDER WAGE GAP IN DIGITAL WORK IN MEXICO FROM 2005 TO 2023

ANGELINA CLAUDIA SOBRADO
LUNA¹

REYNA ELIZABETH RODRÍGUEZ
PÉREZ²

RESUMEN

El trabajo en plataformas digitales ha abierto la puerta al mercado laboral tanto para hombres como para mujeres ya que ofrece ventajas como la jornada flexible y otras características propias de la informalidad, sin embargo, también representa desventajas relacionadas con bajos salarios y falta de prestaciones de ley. Al igual que en otros países, en México, las mujeres tradicionalmente están al cuidado del hogar, por tanto, dedican menos tiempo al trabajo remunerado y el trabajo digital ha sido una opción para compaginar su vida laboral con los cuidados del hogar. La hipótesis planteada es identificar si existe una brecha salarial del trabajo digital que se incrementa en 2023 debido a la pandemia. El objetivo es analizar los determinantes de la brecha salarial entre hombres y mujeres en el trabajo digital en México de 2005 a 2023, la investigación es de tipo cuantitativo con la metodología Juhn-Murphy-Pierce (JMP) de descomposición de la brecha salarial en características observables (sociodemográficas, horas laboradas y actividad económica) y características no observables (discriminación y segregación) a través del tiempo. Para el análisis se utilizan datos del tercer trimestre de la ENOE de 2005, 2010, 2017 y 2023 aplicando el factor expansión del INEGI. Los hallazgos indican que existe una brecha salarial en el trabajo digital que incrementa ligeramente en el 2023, explicada principalmente por las características observables de edad, condición de jefe de familia y estado civil casado, en algunos periodos la brecha se debe a las características

1. Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarias, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Centro de Investigaciones Socioeconómicas, Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
claudia.sobrado@uadec.edu.mx



CienciAcierta

no observables, como la discriminación algorítmica de la plataforma; por tanto, persiste en el trabajo digital incrementada por características no observables después de la pandemia, por lo que se requieren políticas públicas enfocadas a mejorar las condiciones del trabajo digital para las mujeres.

Palabras clave: J31 diferencias salariales por género; J16 economía de género; O33 cambio tecnológico y digitalización; J22 reparto del tiempo y oferta de trabajo; J24 capital humano; cualificación; elección de ocupación; productividad del trabajo.

Fecha de recepción
14 de mayo de 2025.

Fecha de aceptación
11 de junio de 2025.

ABSTRACT

Platform work has opened the door to the labor market for both men and women, offering advantages such as flexible hours and other characteristics of informality. However, this type of work also presents disadvantages related to low wages and a lack of legal benefits. As in other countries, in Mexico, women traditionally take care of the home, therefore, they dedicate less time to paid work, and digital work has been an option for combining their work life with home care. The hypothesis proposed is to identify whether there is a wage gap in digital work that increases in 2023 due to the pandemic. The objective of this study is to analyze the determinants of the gender wage gap in digital work in Mexico from 2005 to 2023. The research is quantitative using the Juhn-Murphy-Pierce (JMP) methodology for decomposing the wage gap into observable characteristics (sociodemographics, hours worked, and economic activity) and unobservable characteristics (discrimination and segregation) over time. For the analysis, data from the third quarter of the ENOE (National Institute of Statistics and Geography) for 2005, 2010, 2017, and 2023 are used, applying the sampling weights provided by INEGI. The findings indicate a gender pay gap in digital work that will increase slightly in 2023, mainly explained by the observable characteristics of age, being head of household, and married marital status. In some periods, the gender pay gap is due to unobservable characteristics, such as algorithmic discrimination by the platform.

Therefore, the gender pay gap in digital work, increased by unobservable characteristics, persists after the pandemic, so public policies focused on improving digital work conditions for women are required.

Keywords: *gender pay gaps; J16 gender economy; O33 technological change and digitalization; J22 time distribution and job supply; J24 human capital, qualifications; choice of occupation; labor productivity.*

INTRODUCCIÓN

Las plataformas digitales han transformado el mercado laboral propiciando nuevas formas de organización laboral tanto para hombres como para mujeres a través del trabajo digital, el cual, Cardón y Casilli (2015) definen como el trabajo que se desarrolla mediante un dispositivo electrónico bajo el contexto de un intercambio mercantil que atiende a las siguientes características: ser un trabajo informal, tener jornadas flexibles, ser independiente y trabajar desde cualquier lugar. Así, las personas han encontrado la forma de generar ingresos a través de ellas, como la llamada economía colaborativa o *Gig Economy* definida por Sánchez (2019) como la fase de la economía digital que es virtual, flexible y cortoplacista.

Bajo la ilusión de la flexibilidad laboral, las plataformas digitales abren la puerta a que un mayor número de mujeres accedan al mercado laboral con el objetivo de generar un ingreso para compaginar las labores del hogar y el trabajo remunerado (Acosta y Pedraza, 2020). Así, el trabajo digital es una opción para ellas de auto emplearse trabajando pocas horas a la semana y como consecuencia las mujeres suelen generar menores ingresos que los hombres (Díaz y Aparicio, 2024), amplificando así, la brecha salarial de género. Si bien las plataformas digitales facilitan el acceso al mercado laboral y permiten generar ingresos inmediatos, tienen la desventaja de no ofrecer prestaciones sociales ya que las plataformas “solo son un respaldo para acceder a un mayor mercado; es decir, entre la plataforma y el trabajador solo hay un contrato mercantil, no de tipo laboral” (Instituto Nacional de Estadística, Geografía e



Informática [INEGI], 2022).

Desde el punto de vista de la economía feminista, hombres y mujeres no realizan los mismos trabajos ya que las oportunidades laborales no son iguales y se van segmentando de acuerdo a los perfiles ofrecidos, de tal forma que existe una segregación horizontal y vertical que tiene como consecuencia la diferencia salarial, debido a que las mujeres trabajan menos horas debido al tiempo que dedican al trabajo no remunerado relacionado con tareas de cuidados; ellas se emplean en trabajos con menos prestaciones que los de los hombres y, dado que no realizan el mismo tipo de trabajo, éstos son valorados social y económicamente de forma diferente (Goren y Trajtemberg, 2017). En ese sentido, las plataformas digitales contribuyen a las desigualdades de género a través de la discriminación salarial algorítmica, la cual se define como “la que se produce cuando un individuo o colectivo recibe un tratamiento arbitrario como consecuencia de la toma de decisiones automatizadas” (Mercader, 2021), en otras palabras, es la que refiere a los hábitos de comportamiento laboral registrados en la plataforma y que determinan la asignación de tareas o pedidos, de forma que, si un usuario activa la plataforma para trabajar en horas poco demandadas del día aunque el pago sea muy bajo, ese patrón se registrará y solo le asignarán tareas en esos horarios, de igual forma, si el usuario suele cancelar pedidos, la plataforma lo penalizará sin asignarle tareas por un tiempo, en ambos casos, la discriminación algorítmica contribuirá a que genere menos ingresos. Por otro lado, existe una marcada segregación ocupacional de género en las plataformas digitales que refiere a actividades más masculinizadas, por ejemplo las del transporte de pasajeros, donde los conductores en su mayoría suelen ser hombres, y actividades más femeninas como las de las tareas de cuidado (García, 2023). Así, la discriminación algorítmica y la segregación ocupacional, aunada a la falta de regularización del trabajo digital, pueden generar condiciones laborales desiguales, en las que las mujeres están en desventaja, condicionando así sus bajos ingresos. En este sentido, Pedrero y Pacheco (2023) realizan un estudio de las desigualdades en el trabajo remunerado y trabajo no remunerado para hombres y mujeres antes y después de la pandemia COVID-19, establecen que las mujeres se

emplean en mayor cantidad que los hombres en trabajos a tiempos parciales; en 2019 antes de la pandemia las mujeres dedicaban en promedio 43.64 horas al trabajo remunerado y en 2021 bajó a 40.40 horas, para los hombres la jornada laboral se mantuvo prácticamente igual ya que pasó de 48.86 horas en 2019 a 48.68 respectivamente, sin embargo para el trabajo no remunerado, los hombres pasaron de 10.77 horas en 2019 a 12.23 en 2021, para las mujeres pasó de 32.36 a 32.50 lo que indica que sus condiciones laborales desiguales continúan y siguen siendo enfocadas a las labores de cuidados.

Algunos estudios empíricos, como el de Cortés y Artazcoz (2021), establecen que el trabajo femenino no remunerado ha determinado su menor participación en el mercado laboral ya que tiene una mayor prevalencia a la flexibilidad laboral, a trabajar de forma independiente con contratos temporales, esto tiene como consecuencia diferencias en las condiciones de trabajo ampliando las desigualdades salariales entre hombres y mujeres. Por su parte, Galperin y Arcidiacono (2021) realizan un análisis la brecha digital de género en tres países: México, Ecuador y Perú, se utilizaron datos de las encuestas a hogares administradas por las oficinas nacionales de cada país, en el caso de México del INEGI, aplican dos metodologías: un modelo *logit* y la descomposición de Oaxaca-Blinder para analizar la brecha digital de género, los resultados indican que las mujeres se emplean menos horas que los hombres en trabajos con uso de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC) en un rango de 33 contra 40 horas a la semana en Ecuador, 38 a 49 en México y 37 a 44 en Perú, por tanto, se observa que las mujeres tienen menor acceso a trabajos de jornada completa en el mercado laboral.

Con respecto al acceso al mercado laboral, Dios-Murcia y col. (2021) analizan la probabilidad de que los trabajadores de plataformas digitales generen altos o bajos ingresos, utilizaron datos de la encuesta COLLEEM (COLLABorative Economy and EMPloyment) de los años 2017 y 2018 para España atendiendo a la frecuencia de la actividad en la plataforma y al hecho de que esa actividad sea la principal o una complementaria. Los resultados del modelo *probit* indican que las mujeres que trabajan en plataformas tienen menor probabilidad de pertenecer a ingresos altos

ya que el 43.8% de las mujeres trabajan menos de 20 horas contra el 35.9% de hombres, la probabilidad de trabajar en plataformas digitales es menor para la mujer que el hombre. Por tanto, persiste la brecha salarial debido a baja cantidad de horas laboradas y a las barreras de acceso al mercado laboral digital.

En otros estudios globales dirigidos por la Organización Internacional del Trabajo (OIT) se encuentra el que realizan Rani y col. (2022) a través de una investigación con 3000 trabajadores de cien países en 2021 sobre las características del trabajo de las mujeres en las plataformas digitales de trabajo autónomo y micro tareas, dividen a los trabajadores en países desarrollados y en vías de desarrollo, los hallazgos apuntan a que la mayoría de las mujeres que trabaja en algún tipo de plataforma digital *online* lo hace de noche, al mismo tiempo desean trabajar más horas para obtener más ingresos, su grado de escolaridad es universitario. En los países en vías de desarrollo la mayoría de las mujeres que opta por el trabajo en línea es por la flexibilidad y la autonomía, ellas se emplean en servicios profesionales mientras que los hombres lo hacen en tareas relacionadas con la tecnología. En cambio, en los países desarrollados el trabajo en plataformas digitales es para complementar los ingresos de un trabajo principal, por tanto, se registra una brecha salarial mayor. Los trabajos en plataformas de micro tareas, como las de responder encuestas en línea, la brecha es casi imperceptible.

Con base en estos antecedentes, se encuentra una problemática en analizar si existe una desigualdad salarial entre hombres y mujeres en los trabajos digitales y cuáles son los factores que contribuyen a su incremento o disminución a través del tiempo ya que en México no se cuenta, hasta el momento, con algún estudio similar. El objetivo de este estudio es identificar la diferencia salarial entre hombres y mujeres en el trabajo digital en México de 2005 a 2023, determinar las características observables (socio-demográficas y cantidad de horas laboradas) y las no observables (discriminación y segregación), así como las actividades económicas que contribuyen a esta diferencia salarial.

MATERIALES Y MÉTODOS

La brecha salarial se analizó bajo la metodología Juhn-Murphy-Pierce (JMP), que permite descomponer, es decir, separar, las diferencias de los factores observables, los cuales refieren a las características sociodemográficas y actividades económicas, y los factores no observables, en otras palabras, los que no se pueden medir, como discriminación y segregación, a través del tiempo (Juhn y col., 1993) utilizando datos de la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE) de los diferentes grupos de hombres y mujeres por cantidad de horas laboradas, rango de edad, nivel educativo, estado civil y tipo de actividad económica. Para el análisis de datos se utilizó el programa STATA 16.

La muestra está conformada por ocupados de 15 a 65 años correspondiente a la población económicamente activa (PEA) que realiza actividades económicas en las que utilizan tecnologías de la información, del tercer trimestre de la ENOE, años 2005, 2010, 2017 y 2023, aplicando el factor expansión del INEGI a todas las variables independientes del modelo. Los años se seleccionaron de acuerdo a la disponibilidad de información de la ENOE: el año 2005 por ser el primero registrado en la encuesta; el 2010 por ser un año más estable después de la crisis hipotecaria originada en Estados Unidos en 2008; el año 2017 debido a que fue más estable después de ajustes y cambios al catálogo de la ENOE; y el año 2023 por la estabilidad después de la pandemia COVID-19.

La variable “Trabajador Digital” se construyó por criterios acumulativos a partir de la información de las preguntas de la ENOE que responden a las características del trabajador digital:

- Independiente: clasificación de la población ocupada por posición en la ocupación.
- Informal: clasificación de la población ocupada por condición de acceso a instituciones de salud.
- Jornada flexible: clasificación de la población ocupada por la

duración de la jornada.

- Contrato laboral: clasificación de la población remunerada por disponibilidad de contrato.
- Lugar de trabajo: clasificación del tipo de establecimiento del negocio.
- Ingreso: Ingreso Mensual.

Las actividades que utilizan TIC se determinaron de acuerdo a la clasificación de la actividad de la unidad económica del catálogo del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) captada igualmente por la ENOE en las actividades laborales que involucran el uso de internet o TIC para desarrollarlas. El salario mensual se consideró a precios constantes del año 2023, se considera jornada flexible la clasificación de la ENOE menor a 40 horas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en dos etapas, en la primera se analiza estadísticamente de forma breve el porcentaje de trabajadores digitales

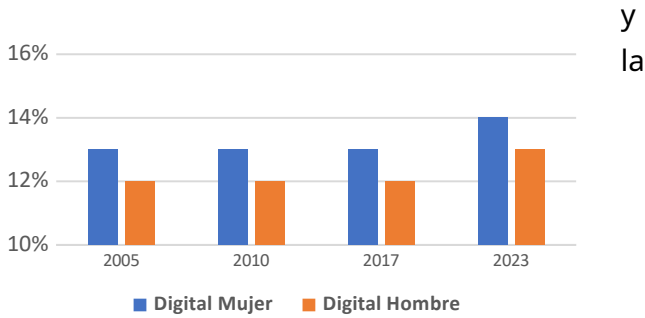


Figura 1. Porcentaje de Trabajadores Digitales por género del Tercer Trimestre de la ENOE 2005, 2010, 2017 y 2023.

brecha salarial por percentiles, en la segunda se analizan los resultados del modelo JMP. En la Figura 1 se presenta el porcentaje de trabajadores digitales con respecto del total de ocupados, se observa que, en todos los años de estudio, hay un mayor porcentaje de mujeres que de hombres laborando en este tipo de trabajo, presenta una leve tendencia creciente, de 13% en 2005 al 14 % en 2023. Estos resultados son congruentes con Acosta y Pedraza (2020) sobre la incorporación de mayor número de mujeres en el trabajo en plataformas digitales debido a la flexibilidad laboral que ofrecen para obtener ingresos de forma inmediata

Con respecto a los ingresos, en la Figura 2 se muestra la brecha salarial por percentiles, esta gráfica indica que la mayor diferencia salarial se encuentra en los que menos ingresos tienen, en este caso indicado por el percentil 10, en el cual la brecha es del 44% en 2017 y del 45% en todos los demás años de estudio. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Díaz y Aparicio (2024) en los que establecen que las mujeres generan menos ingresos

al trabajar en plataformas digitales porque laboran menos horas que los hombres, además, se

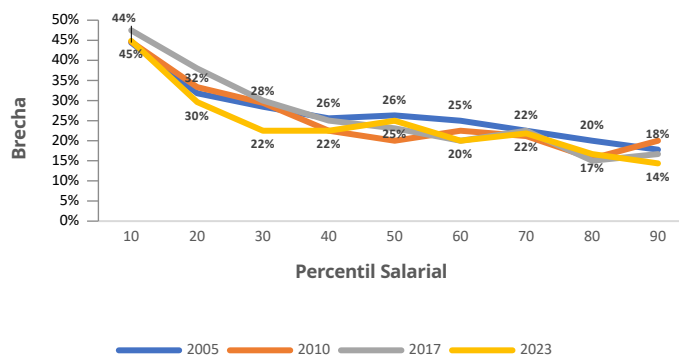


Figura 2. Diferencia Salarial por percentil del Trabajador Digital 2005, 2010, 2017 y 2023.



observa que en todos los periodos la diferencia salarial tiende a reducirse conforme se incrementan los ingresos, de tal forma que, en el percentil 90, el que concentra los ingresos altos, la diferencia es de un 18% en el año 2010 y se tiende a reducir hasta llegar a un 14% en el año 2023, esto es un indicio de que en los trabajos digitales mejor remunerados hay mayor equidad y menor discriminación que propician brechas más cerradas, esto puede deberse a que en ese segmento las mujeres tengan mayor nivel de escolaridad que les permita realizar tareas mejor remuneradas, como por ejemplo el trabajo en plataformas de tecnología o de comunicación.

Los resultados del modelo JMP se presentan en la Tabla 1, indican que existe una brecha salarial género en cada año, la diferencia es negativa en todos los años, lo que demuestra que los hombres ganan más que las mujeres en promedio, de acuerdo con los resultados por año se observa que hay una ligera reducción del diferencial entre 2005 (-0.3148) y 2017 (-0.2815), pero vuelve a aumentar en 2023 (-0.2900). Las características observadas (fila 2) indican cuánto del diferencial salarial puede explicarse por diferencias en atributos como educación, edad, estado civil, entre otros, se observa una tendencia a disminuir consistentemente con el tiempo (de -0.1584 en 2005 a -0.1058 en 2023), lo que puede reflejar que las diferencias en características entre hombres y mujeres están reduciéndose. Los Residuos salariales (fila 3) representan la parte no explicada del diferencial, asociada generalmente con factores como discriminación, la calidad de la educación, etc. se observa que había una tendencia a disminuir en los años 2005 (-0.1564) a 2010 (-0.1522) y vuelve a aumentar en 2017 (-0.1527) y 2023 (-0.1843). Estos resultados coinciden con los cambios temporales de 2005-2010, 2010-2017 y 2017-2023.

Tabla 1. Descomposición Juhn-Murphy-Pierce (JMP) del diferencial salarial por razón de género para el Trabajador Digital. Tblacer trimestre 2005-2010-2017-2023

	2005	2010	2017	2023
--	------	------	------	------

Diferencial Salarial por Género (1)	-0.314837	-0.285572	-0.281478	-0.290097
Características Observadas (2)	-0.158481	-0.133363	-0.128771	-0.105784
Residuos Salariales (3)	-0.156356	-0.152209	-0.152707	-0.184313
		2005-2010	2010-2017	2017-2023
Diferencias (4)		0.029265	0.004094	-0.008619
Explicada (5)		0.025118	0.004592	0.022987
No Explicada (6)		0.004147	-0.000498	-0.031606

Los resultados del modelo econométrico con la metodología JMP por año se presentan en la Figura 3, se observa que la brecha salarial entre hombres y mujeres disminuye en los años 2005, 2010 y 2017, sin embargo, para el año 2023 la brecha se incrementa, esto podría relacionarse con la pandemia COVID 19 que tuvo un efecto en los salarios ya que la actividad laboral en los trabajos digitales de muchas mujeres disminuyó, como consecuencia sus ingresos también lo hicieron, Vallecillo (2023) establece que al pasar la pandemia muchos trabajos digitales tomaron más fuerza en segmentos tecnológicos que son actividades más masculinizadas y las mujeres se desplazaron a trabajos digitales en ocupaciones menos remuneradas atribuyendo también este efecto a la tendencia de las empresas digital a asignar tareas de menor responsabilidad a las mujeres con menores salarios. Por otro lado, existe una diferencia en las características observables de edad, escolaridad, condición de jefe de familia, estado civil casado y cantidad de horas laboradas a la semana que disminuyen a través del tiempo, esto indica que hay una ligera tendencia a la equidad en los trabajos digitales, es decir, que estas características observables definen cada vez menos la diferencia salarial, esto implica que en el largo plazo, estas características observables analizadas dejarán de ser determinantes para la brecha salarial y cambiarán por otras diferentes, en otras palabras de ser casado y ser jefe de familia ya no será un diferencial por tanto, otras características impactarán en la brecha describan el mercado laboral de las nuevas generaciones. F las características no observables, es decir, las que no se p como lo son la discriminación algorítmica, la segregación presentaron una ligera tendencia a disminuir en los años 2017, sin embargo, esta diferencia se incrementó considera el año 2023 principalmente atribuible a la segregación de debido a que las

mujeres se han incrementado en plataformas de transporte de pasajeros que es una actividad más masculinizada (García, 2023). La discriminación algorítmica dada por los hábitos laborales y por los propios clientes al declinar pedidos cuando identifican el género femenino, contribuye al incremento de este rubro. Los resultados obtenidos apoyan la existencia de una brecha salarial en los trabajos digitales, aunque se aprecia que las características observables tienen una ligera tendencia a disminuir aún existe un incremento en las características no observables atribuibles a factores como la discriminación y segregación que ya había disminuido en años anteriores a 2023.

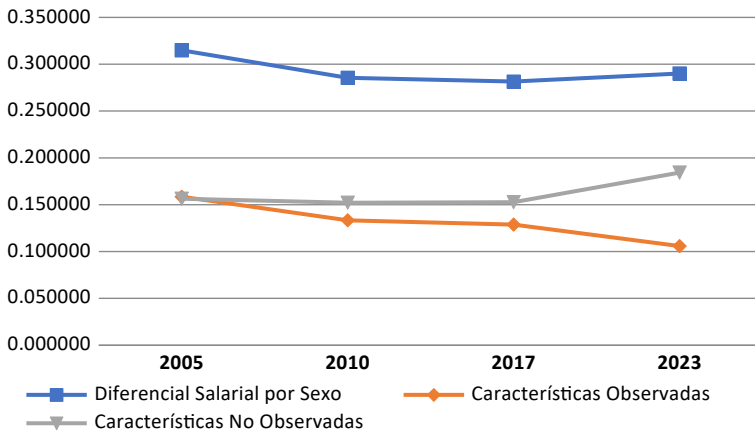


Figura 3. Diferencial salarial por razón de género para el Trabajador Digital. Modelo JMP.

fue el de 26 a 35 años, para el periodo 2017-2023 el rango que más contribuyó fue el de 36 a 45 años, esto indica un cambio estructural en la edad del mercado laboral, atribuido principalmente a la edad de responsabilidad parental. Con respecto a la escolaridad, se observa que en el periodo 2005-2010 la primaria completa contribuía a la diferencia salarial, sin embargo, en el periodo 2010-2017 lo es el grado universitario, por tanto, se puede decir que el tener un mayor grado de escolaridad amplía la brecha. Tanto la condición de jefe de familia como el estado civil casado contribuyen en todos los periodos a incremento de la brecha salarial, por lo que esta condición al igual que en los trabajos tradiciones contribuye de manera significativa ya que es en la que recae el sustento económico del hogar, estos resultados que coinciden los estudios realizados por Torres y Ochoa (2022). Con respecto a las horas laboradas, en el periodo 2010-2017 trabajar menos de 40 horas a la semana contribuía en la brecha salarial, sin embargo para el periodo 2017-2023 la mayor contribución a la brecha salarial se encuentra en las personas que trabajan más de 40 horas, en otras palabras, se generan más ingresos mientras más trabajas, dado que las mujeres tienen menor disponibilidad de tiempo para el trabajo remunera entonces reciben menos ingresos, estos resultados concuerdan con el estudio realizado por Rani y col. (2022) y por Cortés y Artazcoz (2021) quienes establecen que las mujeres optan por trabajos con jornadas flexibles debido al tiempo dedicado al trabajo no remunerado, y con Galperin y Arcidiacono (2021) quienes establecen que las mujeres trabajan menos horas que los hombres, destacando que existe mayor porcentaje de mujeres trabajando de 20 a 40 horas y por tanto los que trabajan más horas contribuyen más a la brecha salarial.

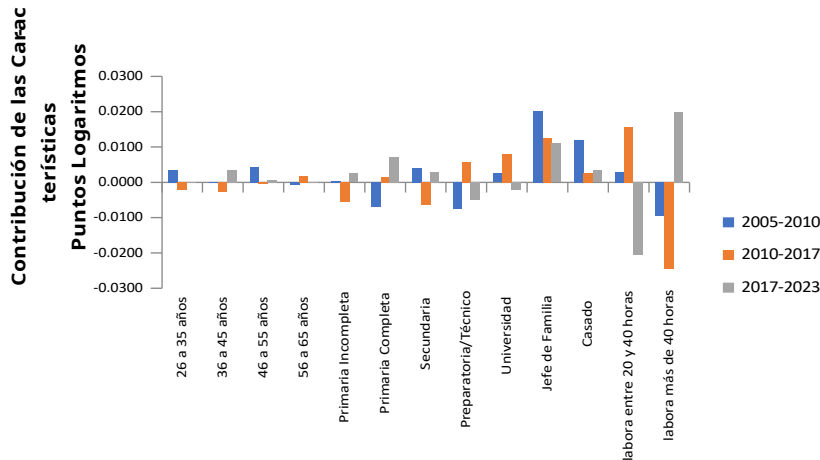


Figura 4. Diferencial salarial por razón de género por característica. Modelo JMP.

Con respecto a las actividades económicas, sus contribuciones a la brecha salarial se muestran en la Figura 5. El comercio al por menor es la actividad que más contribuyó a la brecha salarial con 0.0128 puntos logaritmos en el periodo 2017-2023, en este rubro se encuentran todas las plataformas de venta por internet, así como lo han establecido Dios-Murcia y col. (2021), las mujeres trabajan menos horas que los hombres en las plataformas online, a diferencia de las actividades de educación que son las que menos contribuyeron a la brecha salarial con un 0.0010 puntos logaritmos. La actividad del transporte contribuye de manera significativa a la brecha salarial en el periodo 2005-2010 con 0.0054, debido al gran crecimiento que han tenido las plataformas como UBER y DIDI en México, esta diferencia está explicada principalmente por la segregación ocupacional y por la que hacen los propios usuarios al identificar un conductor mujer. La industria del esparcimiento presenta una ligera contribución a la brecha salarial, explicada principalmente por la proliferación de plataformas de alojamiento como Airbnb o de agencias de viajes, estas plataformas explican su diferencia salarial debido a la discriminación algorítmica. El sector gobierno es importante debido a que no se presenta brecha salarial en ningún periodo, esto se debe a la equidad de género que estructuralmente se ha atendido, incluso, en este sector el comportamiento es inverso al sector privado ya que los trabajos suelen licitarse y asignarse con equidad.



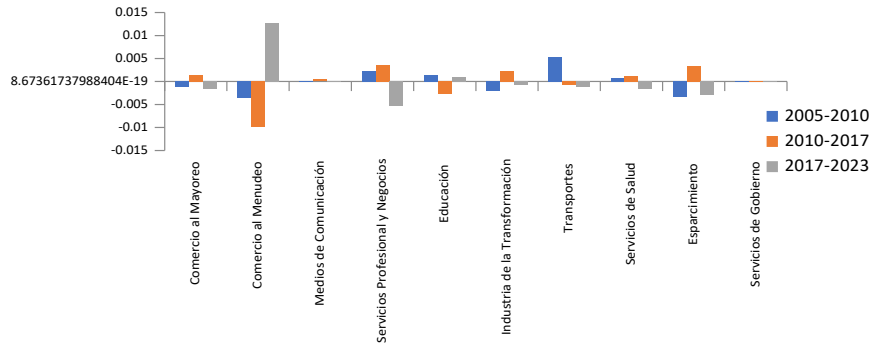


Figura 5. Diferencial salarial por razón de género por Actividad. Modelo JMP.

CONCLUSIONES

El auge de las plataformas digitales representa grandes ventajas para todos aquellos que requieren ingresar al mercado laboral con jornadas flexibles, aunque sacrifiquen la asignación de prestaciones sociales que ofrecen los trabajos formales. Sin embargo, ante el beneficio de trabajar pocas horas al día, en cualquier lugar y sin estar sujeto a un contrato laboral forzoso, se encuentra la disyuntiva de que el pago recibido bajo este esquema laboral contribuye en gran medida a la precarización del salario, siendo las mujeres las que están en mayor desventaja que los hombres debido a que son las que menos horas pueden dedicar al trabajo, por otro lado, una mayor escolaridad no necesariamente reduce la brecha salarial, sino que al contrario, esta característica tiende a incrementarla debido a que los hombres con mayor cualificación en áreas tecnológicas tienen mejor desempeño es los trabajos digitales haciendo sus tareas más rápido y por tanto tienen más asignaciones que las mujeres que no cuentan con estas habilidades, por lo que, a la vez que las plataformas digitales han revolucionado la organización laboral, también han polarizado los ingresos entre hombres y mujeres a través de la discriminación salarial algorítmica y la segregación ocupacional. Ante estas controversias, es necesario implementar políticas públicas

enfocadas en reducir la brecha salarial de género a través de beneficios para las mujeres que les permita trabajar más horas al día en jornadas flexibles, pero no existen las condiciones para que disminuyan las horas que dedican al trabajo no remunerado. En las políticas referentes al sistema de cuidados, se pudiera ampliar el horario de guarderías y de escuelas de educación básica para que les permita trabajar más horas al día y generar mayores ingresos, implementar un sistema de cuidados para el adulto mayor para reducir el tiempo de trabajo no remunerado en esta actividad, implementar un pago por hora mínimo en las tareas de plataformas digitales, entre otras.

REFERENCIAS

- Acosta, S. y Pedraza, E. (2020). La Brecha Digital de Género como factor limitante del desarrollo Femenino. *Investigium*, 10: 22-27. [En línea]. Disponible en: <https://repository.uaeh.edu.mx/revistas/index.php/investigium/article/view/5281/6770>
- Cardón, D. y Casilli, A. (2015). ¿Qué es el trabajo digital? INA. [En línea]. Disponible en: <https://larevuedesmedias.ina.fr/quest-ce-que-le-digital-labor#sommaire> Fecha de consulta: 27 de abril de 2025.
- Cortés, F. y Artazcoz, L. (2021). Desigualdades de género relacionadas con la flexibilidad laboral. *Archivos de Prevención de Riesgos Laborales*, 24(4): 335-341. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.12961/aprl.2021.24.04.01>
- Díaz, M. y Aparicio, R. (2024). Mujeres trabajadoras en plataformas digitales. Ganarse la vida entre la precariedad y las desigualdades de género. *Estudios Sociológicos*. (42): 1-20. <https://doi.org/10.24201/es.2024v42.e2706>
- Dios-Murcia, I., Hospido, L., Pena-Boquete, Y. y Román, C. (2021). Trabajo en plataformas digitales: ¿una oportunidad para la oferta laboral femenina? *Información Comercial Española, ICE: Revista de economía*, 921: 101-125. [En línea]. Disponible en: <https://investigacion.usc.es/documentos/6287194b0b3ab879a6044d57>
- Galperin, H., y Arcidiacono, M. (2021). Empleo y brecha digital de género en América Latina. *Revista Latinoamericana de Economía y Sociedad Digital*, 14(1):1-25. [En línea]. Disponible en: <https://revistalatam.digital/article/empleo-y-brecha>

digital-de-genero-en-america-latina/?pdf=1254

- García, M. (2023) Trayectorias laborales de mujeres conductoras en el servicio de transporte de pasajeros Uber. *Procesos de segregación de género y conciliación entre trabajo remunerado y tareas del cuidado. Papeles de Trabajo* 17(32): 78-98. [En línea]. Disponible en: <https://revistasacademicas.unsam.edu.ar/index.php/papdetrab/articulo/view/1605/3650>
- Goren, N., y Trajtemberg, D. (2017). Articulando producción y reproducción desde los usos del tiempo. *Revista Laboratorio*, 27: 33-50. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6127035>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2022) Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo ENOE. *Manual del Entrevistador 2022*. INEGI. [En línea]. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enoe/15ymas/doc/enoe_n_m anual_entrevistador.pdf Fecha de consulta: 27 de abril de 2023.
- Juhn, C., Murphy, K., y Pierce, B. (1993). Wage inequality and the rise in returns to skill. *Journal of Political Economy*, 101(3): 410-442 [En línea]. Disponible en: https://inequality.stanford.edu/sites/default/files/media/_media/pdf/Classic_Media/Juhn_Murphy_Pierce_1993_Income%20and%20Wealth.pdf
- Mercader, J. (2021) Discriminación algorítmica y derecho granular: nuevos retos para la igualdad en la era del big data. *Labos*, 2: 4-10. <https://doi.org/10.20318/labos.2021.6213>
- Pedrero, M. y Pacheco, E. (2023) *Desigualdades en el trabajo en tiempos de pandemia*. Federici, N. (Ed.) Las mujeres mantienen el mundo con vida. UNAM, pp. 189-223. [En línea]. Disponible en: https://ru.crim.unam.mx/bitstream/123456789/1411/1/Tomo-1_Cap-5.pdf
- Rani, U., Gobel, N. y Dhir, N. (2022) *La experiencia de las mujeres en las plataformas de trabajo online: conclusiones de estudios de diferentes países*. Blanchard, O. y Hunts, A. (Ed.) Perspectiva global sobre las mujeres, el trabajo y las plataformas digitales de trabajo. Digital Future Society, pp. 14-24. [En línea]. Disponible en: https://digitalfuture.society.com/app/uploads/2022/11/Perspectiva_Global_Mujeres_Trabajo_y_Plataformas_Digitales_del_Trabajo.pdf
- Sánchez, A. (2019) Transición a la Economía GIG: Claves de Sociología Empresarial y Laboral. *Encuentros Multidisciplinarios*, 62(21): 1-19. [En línea]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7035962>

Torres, G, A, y Ochoa, A. (2022). Uso, apropiación e impacto de las TIC en el mercado laboral femenino mexicano. *Revista de Economía Institucional*, 24(47): 245-267. <https://doi.org/10.18601/01245996.v22n47.11>

Vallecillo, M. (2023). Competencias digitales, formación y sesgos de género: el reto de vencer el "no women's land". *Revista Internacional y Comparada de Relaciones Laborales y Derecho del Empleo*, 11(1): 439-469. [En línea]. Disponible en: https://ejcls.adapt.it/index.php/rlde_adapt/article/view/1253

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA INGESTA EMOCIONAL DE ALIMENTOS EN ESTUDIANTES DE LICENCIATURAS DEL ÁREA DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

FACTORS THAT INFLUENCE EMOTIONAL FOOD INTAKE IN BACHELOR'S STUDENTS IN THE HEALTH AREA OF THE AUTONOMOUS UNIVERSITY OF COAHUILA

LUIS ERVEY CHACÓN GARZA¹

LIZETTE ANABEL AGUILAR ZAPATA¹

ANA SOFÍA TORRALBA HERNÁNDEZ¹

ERIKA NOHEMÍ RIVAS MARTÍNEZ²

GRETHEL DÍAZ PALAFOX³

RESUMEN

La vida universitaria conduce a cambios significativos en el estado de vida del estudiante, lo que influye en una mayor independencia y autonomía con efectos en sus decisiones que a su vez se ven afectadas por aspectos sociales, culturales, económicos y emocionales que contribuyen en el cambio de patrón alimentario del estudiante, conduciendo al desarrollo de un Trastorno de Conducta Alimentaria (TCA), siendo el factor emocional el de mayor influencia en el patrón alimentario. Para evaluar la relación de los diferentes factores económicos, culturales, emocionales y psicosociales sobre los patrones alimenticios, el presente trabajo desarrolló un Instrumento de Medición basado en un cuestionario que evaluó 6 factores (Emoción del Momento, Cultura del Individuo, Familia y Amigos, Indiferencia, Sabores y Estado de Ánimo y Efecto del Alimento) cuya calificación se llevó a cabo mediante la escala de Likert. La población evaluada fueron 100 estudiantes de licenciatura de la Universidad Autónoma de Coahuila en un rango de edades de entre 17 y 25 años. Los resultados de la evaluación mostraron que los factores con mayor influencia en los patrones alimenticios de los estudiantes universitarios fueron: Emoción del Momento, Cultura del Individuo, Familia y Amigos, Sabores y Estado

1. Escuela de Ciencias de la Salud, Unidad Norte, UAdeC.
2. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
3. Facultad de Enfermería, Unidad Laguna, UAdeC.

Correspondencia
 luis.chacon@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-7954-3478>



CienciAcierta

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
14 de mayo de 2025.

de Ánimo y Efecto del Alimento observándose hasta un 60-70% de la población con respuestas en el nivel 1 o 2 de la escala de Likert para algunos elementos evaluados en los factores, en donde se demuestra que la elección de la cantidad y tipo del alimento consumido, calidad nutricional, sabor, necesidad de ingesta alimentaria y estado placentero relacionado con el alimento se ven afectado por los diferentes factores evaluados.

Palabras clave: patrón alimentario; estrés; disponibilidad de tiempo; alimentación emocional; presupuesto; estilo de vida universitario; Escala de Likert.

ABSTRACT

University life leads to significant changes in the student's lifestyle, which influences greater independence and autonomy with effects on their decisions, which in turn are affected by social, cultural, economic and emotional aspects that contribute to the change in the student's eating pattern, leading to the development of an Eating Disorder (ED), with the emotional factor being the one with the greatest influence on the eating pattern. To evaluate the relationship of the different economic, cultural, emotional, and psychosocial factors on eating patterns, the present work developed a Measurement Instrument based on a questionnaire that evaluated 6 factors (Emotion of the Moment, Culture of the Individual, Family and Friends, Indifference, Flavors and Mood and Effect of Food) whose rating was carried out using the Likert scale. The population evaluated was 100 undergraduate students from the Autonomous University of Coahuila in an age range of between 17 and 25 years. The results of the evaluation showed that the factors with the greatest influence on the eating patterns of university students were: Emotion of the Moment, Culture of the Individual, Family and Friends, Flavors and Mood and Effect of Food, observing up to 60-70% of the population with responses at level 1 or 2 of the Likert scale for some elements evaluated in the factors, where it is demonstrated that the choice of the quantity and type of food consumed, nutritional quality, flavor, need for food intake and state pleasure related to food are affected by the

different factors evaluated.

Keywords: *food pattern; stress; time availability; emotional eating; budget; university lifestyle; Likert scale.*

INTRODUCCIÓN

La universidad es un período crucial en la vida de los estudiantes, marcado por una serie de retos académicos y personales (Mamani y col., 2023; Farfán y col., 2023). En el momento en que los jóvenes ingresan a la educación superior, experimentan una transición hacia una mayor independencia y autonomía, lo que también implica cambios significativos en su estilo de vida (Mamani y col., 2023, Ferrara y col., 2022, Escandón y col., 2021). Entre los aspectos clave que a menudo se ven afectados durante esta etapa se encuentra la alimentación (Mamani y col., 2023; Moscatelli y col., 2023).

Los estudiantes universitarios realizan su alimentación en base las condiciones en las que se encuentran. Por ejemplo, al momento de elegir un alimento el estudiante universitario lo elige por su costo, la rapidez en la que se prepara y por su porción, dejando de lado en la mayoría de las ocasiones el valor nutricional (Manjarres y Lozada, 2023; Hernández y col., 2021). Esto se ve influenciado porque los estudiantes se encuentran sometidos a largas horas de estudio, clases en horarios diversos, aumento de la vida nocturna, escasez de presupuesto, entre otros; acciones que ocasionan además ayunos prolongados, saltarse comidas, seguir una alimentación poco diversificada y falta de actividad física regular (Ordoñez y col., 2023). Y a medida que ellos adquieren más autonomía en sus decisiones, los factores sociales, culturales, económicos y emocionales, junto con las preferencias alimentarias contribuyen a un cambio en el patrón de consumo de alimentos (Ordoñez y col., 2023).



En lo referente a las emociones, se ha reportado sobre la existencia de una asociación entre la forma de alimentarse y el estado de ánimo de la persona (Peña y Reidl, 2015; Ramón y col., 2019). Esto ha dado lugar al concepto de comer emocional el cual se refiere esta relación entre la emoción y la conducta alimentaria resultante (Palomino, 2020) y comedor emocional a aquella persona que modifica sus hábitos alimenticios en función de la emoción. En este aspecto, se ha identificado que los comedores emocionales incrementan el consumo de los alimentos en respuesta a emociones las cuales pueden ser tanto desagradables como agradables, dependiendo del individuo, en cambio, los comedores no emocionales no modifican sus niveles de consumo o incluso lo restringen (Peña y Reidl, 2015).

En el contexto universitario, los estudiantes se encuentran sometidos a diferentes situaciones que generan estrés como las arriba descritas, las cuales inciden en sus conductas alimentarias (Figura 1) y son un factor predisponente que en casos extremos podría favorecer el desarrollo de trastornos de la conducta alimentaria (TCA) y la aparición de conductas alimentarias de riesgo (CAR) (Escandón y col., 2021).

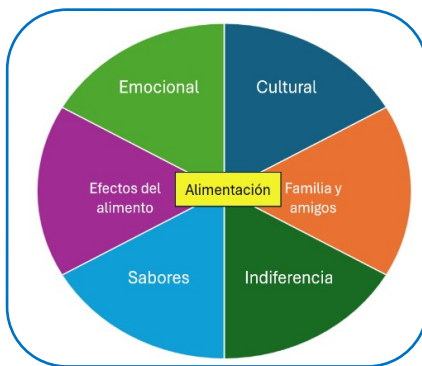


Figura 1. Factores que inciden en las conductas alimentarias de los

En resumen, la relación entre el estado de ánimo y la alimentación podría ser un factor determinante en la elección de los alimentos por parte de los estudiantes, dependiendo de la emoción que induzcan los alimentos o inclusive suprimir el comer en algunos casos, pudiendo dificultar el control de la conducta alimentaria, ya que el comer también regula las emociones (Escandón y col., 2021).

Es por ello por lo que el objetivo del presente trabajo fue el de desarrollar un instrumento de medición de diversos factores que afectan el comer emocional de estudiantes universitarios de nivel licenciatura del área de la salud de la Universidad Autónoma de Coahuila y evaluar que tanto

afectan estos factores su alimentación y con ello entender el comportamiento emocional-alimentario de los estudiantes universitarios, para generar herramientas que a futuro permitan poder establecer estrategias que apoyen a resolver las conductas alimentarias de los estudiantes o individuos de la población sometidos a algún factor de los evaluados.

MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Se elaboró un instrumento de medición para evaluar los hábitos alimenticios de los estudiantes de licenciatura de la Universidad Autónoma de Coahuila que consistió en un cuestionario de 30 preguntas que evaluaban 6 factores reportados por Rojas y García en 2017, los cuales fueron: Emoción del Momento, Cultura del Individuo, Familia y Amigos, Indiferencia, Sabores y Estado de Ánimo del individuo y Efecto del Alimento, cada factor constaba de 5 ítems mezclados en orden alfabético para cuya evaluación se utilizó una escala Likert de 5 respuestas, las cuales fueron: (1) Totalmente en desacuerdo, (2) En desacuerdo, (3) Ni en acuerdo ni en desacuerdo, (4) De acuerdo y (5) Totalmente de acuerdo. Se utilizaron además emojis para una mayor comprensión por parte de los estudiantes entrevistados (Ver Anexo A. Cuestionario sobre hábitos alimenticios).

APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

El instrumento de medición elaborado se aplicó a 100 estudiantes de Licenciatura de la Escuela de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma de Coahuila, cuyas edades oscilaban entre los 17 y 25 años, de las carreras de enfermería, psicología y nutrición, se realizó antes una

explicación del instrumento y se les dio a leer una carta de consentimiento informado. Finalmente, aquellos estudiantes que estuvieron de acuerdo contestaron el instrumento.

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Para la validación del instrumento de medición, se utilizaron 100 cuestionarios contestados, los resultados fueron analizados en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 26, realizando un análisis de fiabilidad alfa de Cronbach.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

El paquete estadístico IBM SPSS Statistics (Versión 26) fue utilizado para analizar los resultados de los 6 factores evaluados mediante un análisis de correlación bivariado de Pearson estableciendo un valor mínimo de 0.7000 para el coeficiente alfa de Cronbach.

RESULTADOS Y DISUSIÓN

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

La elaboración y aplicación de instrumentos de medida es una tarea habitual en la investigación cualitativa por lo que es necesario que los cuestionarios, escalas y tests utilizados válidos y fiables entendiendo fiabilidad como la precisión en la medida de una característica o un atributo. Debido a ello en el presente trabajo se evaluó la pertinencia del instrumento mediante el uso de coeficiente alfa de Cronbach el cual es una fórmula general para estimar la fiabilidad de un instrumento en el que la respuesta a los ítems es dicotómica o tiene más de dos valores, como por ejemplo en una escala de actitudes con respuesta de tipo



Likert como la empleada en el presente trabajo (Rodríguez y Reguant, 2020).

En el instrumento utilizado en la presente investigación se obtuvo un coeficiente α de 0.771, lo cual es considerado un resultado aceptable para la validación de éste, ya que el valor mínimo considerado aceptable para un coeficiente alfa de Cronbach es de 0.700, mientras que por debajo de ese valor la consistencia interna de la escala utilizada es baja (Rodríguez y Reguant, 2020; da Silva y col., 2015), y en base al anterior resultado procedió a realizar las encuestas correspondientes.

ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE SEIS DIFERENTES FACTORES UTILIZADOS EN EL INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Al analizar el grado de correlación de los seis factores de los que constaba el instrumento, se encontró que las 5 preguntas utilizadas para medir el factor "*Emoción del momento*" (¿Comer mejora mi estado de ánimo? ¿Cuándo tengo problemas emocionales siento la necesidad de comer? ¿Cuándo estoy contento me da más hambre? ¿Cuándo estoy triste tiendo a comer más? ¿Cuándo tengo hambre, mi estado de ánimo cambia?) muestran una correlación significativa entre sí ($p = 0.05$), lo que indica que el hecho de comer o dejar de hacerlo incide en el estado de ánimo de los encuestados (Figura 2), lo cual a su vez se ve influenciado por las emociones que éstos tienen en el momento de comer, pudiendo ser esta algo que los deprima o los alegre. Todo esto coincide con lo reportado por Rojas y García en el 2017, quienes indican que las personas pueden hacer cambios en su conducta alimentaria en situaciones diversas como: problemas personales, estrés, después de un susto, cuando las cosas van mal, como consuelo ante determinada situación, para olvidar, después de discutir, cuando sienten un vacío emocional, cuando están contentos o cuando se emocionan, entre otras.

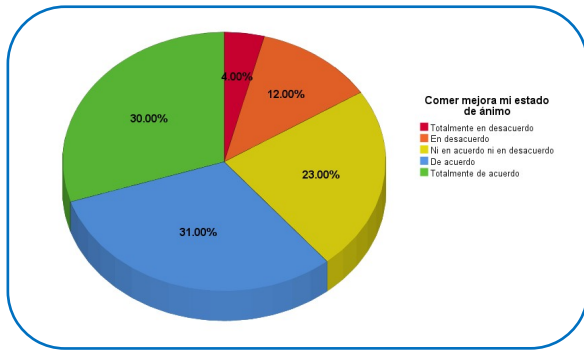


Figura 2. Comer mejora mi estado de ánimo.

Por otra parte, al analizar el grado de correlación del factor “*Cultura del individuo*” se encontró que hubo una correlación significativa ($p = 0.5$) en los ítems “Me levanto de la mesa hasta que termino mis alimentos” y “Acostumbro a celebrar con una buena comida” pues son

conductas que han sido repetidas y fomentadas a lo largo de varias generaciones dentro de las familias mexicanas y son parte de las ideas con las que han crecido. Así mismo, se observó una correlación significativa entre las preguntas “Consumo más alimentos de lo normal durante fiestas o celebraciones” y “Como más de lo normal cuando me invitan a comer”. Esto se debe a que como mencionan Centurión y col. (2021), en todas las culturas, las comidas festivas manifiestan la historia de la comunidad; así, en México se puede encontrar parte de la identidad nacional ligada a los alimentos que se consumen en esas fechas especiales, además de ser una situación cultural con la que las personas reflejan felicidad (Figura 3), y se debe tomar en cuenta que algunos de los estudiantes encuestados son foráneos y las fiestas son situaciones en las que sus límites económicos cotidianos no los restringen en cuanto a la cantidad de los alimentos que ingieren. Finalmente, en la pregunta “Acostumbro a comer siempre a las mismas horas” se encontró que no todos los estudiantes pueden permitirse comer siempre a las mismas horas y en algunos casos inclusive comer, esto último sobre todo en la comunidad foránea.



En la medición del factor “Familia y amigos” se encontró una elevada correlación entre las preguntas: “Disfruto más comer, cuando estoy en familia” y “Disfruto más comer, cuando estoy con amigos”. Los estudiantes prefieren en su momento de tomar sus alimentos, estar acompañado. Amaya en 2009, dónde en un 78 % comía o prefería comer con alguien de su familia (Figura 3), reportado por Alarcón y col. (2019) en un estudio con Universitarios de Chile dónde estos preferían comer con alguien de su familia y más saludable que comer solos. Finalmente, Bautista y Meléndez en 2021, reportaron en un estudio de personas que acostumbran a comer en la calle realizado en Sonora, México, reportaron que solo el 19 % de los jóvenes entrevistados acostumbraban a ir a comer solos.

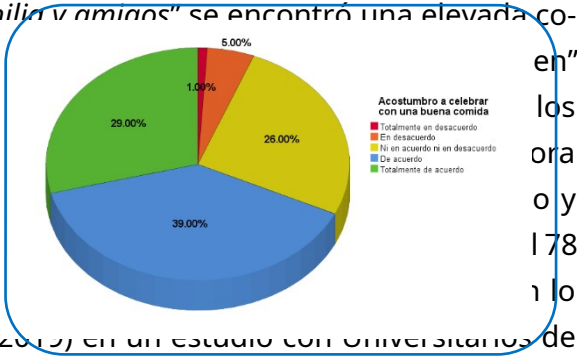


Figura 3. Acostumbro a celebrar con una buena comida.

En cuanto al factor “Indiferencia” éste se refiere a la falta de interés por el cuidado de la alimentación. En este estudio se encontró una correlación entre las preguntas “Pongo poca atención en el etiquetado de los alimentos” y “No presto atención a la información de los alimentos” haciéndonos ver que los estudiantes les pareció indiferente a el cliente sobre lo que está comiendo. Los estudiantes les pareció indiferente que se ingieren ni los ingredientes o aditivos que tengan este tipo de productos.

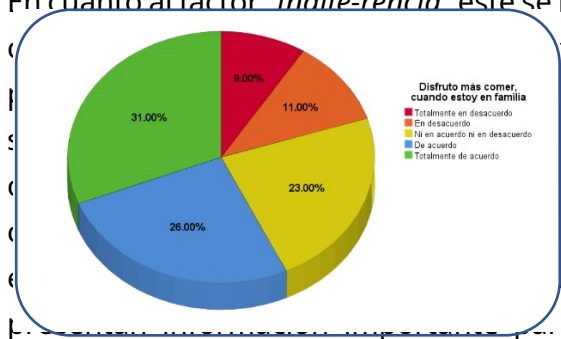
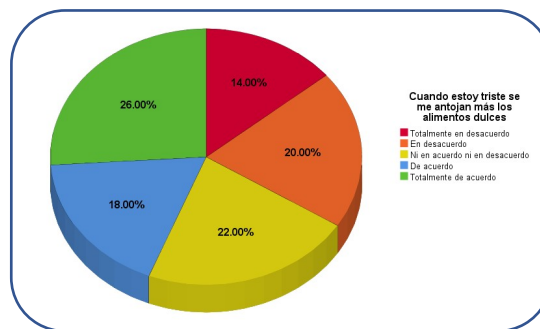


Figura 4. Disfruto más comer cuando estoy en familia.

El “Estado de ánimo” y el estrés pueden afectar la conducta en cuanto a la elección de alimentos y, posiblemente, las respuestas a corto y largo plazo a las intervenciones de tipo alimentario (Dip, 2019). En este factor se agrupan indicadores como cuando estoy triste, cuando estoy feliz, cuando estoy estresado, cuando estoy molesto, se me antojan sabores específicos (Figura 5). Aquí todas las preguntas tuvieron algún grado de correlación significativa ($p = 0.05$) entre sí, “Cuando estoy triste se me antojan más los alimentos dulces”, “Cuando estoy feliz se me antojan más los alimentos dulces”, “Cuando estoy triste se me antojan más los alimentos salados”, “Cuando estoy feliz se me antojan más los alimentos salados” y “Cuando estoy feliz consumo sabores ácidos”, aunque el sabor ácido tuvo una menor correlación con los demás.



En el caso de los adolescentes, estos tienen preferencias favorables a los sabores dulces y salados frente a los ácidos y amargos, lo que provoca ingestas no recomendables, por exceso, de alimentos ricos en grasas (hamburguesas, pizzas, dulces, chocolates, etc.) y bebidas azucaradas (Choque y col., 2023; Torres y col., 2021) y por defecto, de alimentos del grupo de zumos naturales, frutas y verduras. Asimismo, se sabe que las preferencias no son innatas sino un producto de los factores genéticos y ambientales que rodean al individuo y que inician desde la concepción (Mazariegos, 2020; Benarroch y col, 2011).

Figura 5. Cuando estoy triste se me antojan más los sabores dulces.

El factor “Efecto del Alimento” abarca cambios en el estado de ánimo, antes, durante y después de comer y sus indicadores son: mejora mi estado de ánimo, mi estado de ánimo cambia. (Rojas y García, 2017). En este factor solo se encontró correlación significativa ($p = 0.05$) entre las preguntas: “La comida casera me hace sentir bien” y “Me gusta más la comida que alguien más haya cocinado para mí”, esto podría deberse a

que muchos estudiantes son foráneos y extrañan la ventaja de que alguien les cocine los alimentos a los que están acostumbrados y tienen un sabor más rico para ellos (Alarcón y col., 2019) y mientras que los alumnos locales tienen justo esa ventaja.

Análisis de los resultados de la encuesta sobre hábitos alimenticios en estudiantes Universitarios de la Escuela de Ciencias de la Salud de la Universidad Autónoma de Coahuila.

FACTOR "EMOCIÓN DEL MOMENTO"

El 61% de los estudiantes entrevistados estuvo totalmente de acuerdo o de acuerdo en el que el comer mejora su estado de ánimo (30 % estuvieron totalmente de acuerdo y el 31 % estuvieron de acuerdo), y esto a su vez, tuvo relación con la pregunta: "cuándo tiene problemas emocionales siente la necesidad de comer", pues un 33 % de los encuestados estuvo de acuerdo en algún grado con dicha cuestión. Esto coincide con la gran mayoría de las investigaciones que estudian la relación entre la emoción y la conducta alimentaria como un mecanismo disfuncional de afrontamiento de las emociones negativas de algunos individuos (Palomino, 2020).

Además, se ha estudiado la relación entre emoción y alimentación considerando periodos de estrés, como fue el caso del confinamiento durante la pandemia ocasionada por el SARS-COVID 19. Debido a que es durante un periodo de estrés donde emergen una mayor cantidad de emociones negativas observándose que entre un 35 a un 60% de las personas declaran consumir mayor cantidad de calorías totales cuando se encuentran en estas circunstancias para sentirse mejor; existiendo, de igual manera un 25 a 40% de las personas que disminuyen su ingesta en periodos estresantes (Osorio y col., 2023; Palomino, 2020).

FACTOR "CULTURA DEL INDIVIDUO"



El 68 % de los estudiantes encuestados estuvo totalmente de acuerdo o de acuerdo en que acostumbra a celebrar con una buena comida, aquí hay que destacar que de este mismo grupo de encuestados solo el 22 % reporto que la alegría le daba más hambre, dejando en claro que la abundancia de comida durante las celebraciones es un factor mayoritariamente cultural (Centurión, 2021), tal y como lo manifiesta Cardoso en 2006 quien dice que “gran parte de nuestras celebraciones sociales de muy distinta índole se concretan en comidas compartidas, así mismo son múltiples las situaciones alimentarias en que el alimento ingerido entraña un valor añadido que está determinado por las circunstancias personales y sociales en que se come y, en consecuencia, también por las experiencias anteriores en situaciones semejantes. Así, por ejemplo, desde hace varias décadas en México, los refrescos se han convertido en elementos clave de la cultura alimentaria mexicana, asociándose a situaciones festivas y de placer que se reproducen cotidianamente en las comidas familiares (Hernández y col., 2021).

Dentro de este factor se encontró también que el 61 % de los estudiantes encuestados está totalmente de acuerdo o de acuerdo en que no se levantan de la mesa hasta que terminan sus alimentos, situación que continua muy arraigada en la mentalidad de las personas incluso relacionándolo con el desperdicio de alimentos, pues muchas madres utilizan este tipo de estrategias y algunas otras lo hacen para obligar a sus hijos pequeños a comer (Dolores y col., 2015).

FACTOR “FAMILIA Y AMIGOS”

El 57 % de los encuestados está totalmente de acuerdo (31 %) o de acuerdo (26 %) con que disfrutan más comer cuando están en familia, esto concuerda con lo reportado por Alarcón y col. (2019) quien menciona que este es un ambiente agradable para comer ya que en casa o en familia existe un mayor control y presencia sobre lo que se come, aun cuando el rol de cocinar sea de una persona en específico. Esta imagen también es asociada a una comida más



apetitosa y variada, con presencia de ensaladas y postres, lo que hace que exista mayor cantidad de esta, mientras que estando solos la cantidad de los alimentos y el tipo de estos varían.

Además, el 39 % de los encuestados está totalmente de acuerdo o de acuerdo con que les gusta comer en compañía de alguien. Ambos casos coinciden con lo reportado por Schnettler y col. (2012) quien menciona que existe un componente de vida social en la alimentación que estaría asociado a disfrutar comer en restaurantes o en casa con la familia y amigos con motivos hedonistas es decir por placer.

FACTOR "INDIFERENCIA"

El 38 % de los estudiantes del área de la salud encuestados pone poca atención al contenido nutricional de los alimentos que consume, por el contrario, un 34 % de ellos si lo hace, esto debido a que la sociedad está cada vez más preocupada por el contenido nutricional de lo que come (Husted y col., 2022) y las repercusiones que esto ocasionan en su salud.

Por otra parte aunque el 25 % de los encuestados está totalmente de acuerdo o de acuerdo con que no pone atención a la cantidad de alimento que consume, sin embargo, un 41 % si presta atención a la cantidad de alimentos que consume, esto se ve influenciado porque muchos de los estudiantes que participaron fueron del área de nutrición y el resto de diversas áreas de la salud por lo que se esperaría que este porcentaje fuera alto.

Un 60 % de los estudiantes encuestados no están de acuerdo con que les da igual el sabor de los alimentos que consume, el sabor importa para ellos ya que se ha demostrado en diversas investigaciones sobre las conductas alimentarias de las personas la fuerte influencia de las preferencias (gustos, sabores) en la elección de un alimento frente a

otros (Aranceta, 2023; Benarroch y col, 2011).

FACTOR “SABORES Y ESTADO DE ÁNIMO”

El 35 % de los estudiantes encuestados de acuerdo con que al estar feliz se le antojan más los alimentos dulces, un 35 % está de acuerdo en que se le antojan más los alimentos salados y un 16 % se le antojan más los sabores ácidos. Sin embargo, un 44 % está totalmente de acuerdo o de acuerdo en que cuando están tristes se les antojan más los alimentos dulces y solo 19 % prefiere los sabores salados.

Esto se debe a las emociones “despiertan” las características organolépticas de los alimentos que afectan su elección, es decir ciertos alimentos presentan alta palatabilidad y evocan respuestas positivas que incentivan a su ingestión como los alimentos dulces y altos en grasas, lo que no ocurre con alimentos de sabor amargo, que son evolutivamente considerados tóxicos para los seres humanos y de los cuales se disminuye su ingesta (Palomino, 2020, Hernandez y col., 2017). Respecto de las preferencias alimentarias según Anger y Katz, 2015; ante las emociones negativas se ingieren predominantemente alimentos de sabor dulce, mientras que ante emociones positivas predomina la ingesta de alimentos salados.

También hay diferencias en la ingesta de alimentos, relacionado con la intensidad de la emoción, ya que los individuos ingieren más alimentos en presencia de emociones positivas o negativas que frente a emociones neutras, esto estaría explicado porque a mayor intensidad de la emoción experimentada mayor inhibición del control alimentario, lo que además ocurre frecuentemente en personas que están en periodos de restricción alimentaria (Palomino, 2020).

FACTOR “EFECTO DEL ALIMENTO”

Al analizar este factor se encontró que un 71 % de los estudiantes encuestados está de acuerdo en que la comida casera lo hace sentir bien mientras que un 29 % en que es la comida procesada la que lo hace sentir bien. Esto puede deberse como ya se mencionó anteriormente a que las personas idealizan y prefieren comer dentro de su hogar, porque asocian la comida casera como más apetitosa y saludable (Alarcón y col, 2019), además porque como se vio anteriormente asocian el que alguien les prepare la comida como una acción de cariño hacia su persona. No obstante, la comida procesada ha ido ganando adeptos a lo largo del tiempo pues la disponibilidad de esta a un costo económico accesible, cercano a las posibilidades estudiantiles, atrae al grupo en su consenso para obtener comida de alta densidad energética a bajo costo monetario (Alarcón y col, 2019) con las consecuencias que esto puede tener pues los alimentos procesados generalmente son altos en grasas, altos en azúcares y altos en calorías (Palomino, 2020, Diggins y col, 2015)

El 38 % de los estudiantes encuestados está de acuerdo con que les gusta más la comida que ellos cocinan mientras que el 50 % prefiere la comida que alguien haya preparado para ellos. Esto se explica en parte porque muchos estudiantes aún viven con sus padres, algunos no saben cocinar, sin embargo, también muchos estudiantes intentan desarraigarse de las costumbres familiares cuando las consideran como poco y esta actitud alcanza su mayor expresión cuando las personas ya no viven con sus padres y pueden tener mayor control y decisión sobre lo que comen (Alarcón y col, 2019).

Finalmente, el 37 % de los encuestados están totalmente de acuerdo o de acuerdo en que los alimentos visualmente agradables saben mejor, esto se debe a que parte de nuestra percepción está dominada por la visión, por lo que el color y la presentación del alimento nos generan expectativas sobre la experiencia gastronómica que vamos a tener. Estudios sugieren que el emplatado puede hacer que pensemos que un plato es salado o dulce en un primer momento y el color influye de tal

manera que el sabor en un mismo alimento coloreado de forma diferente será percibido de diferente forma, por ejemplo, se ha observado que los colores rojos en los alimentos incrementan la percepción del dulzor (Durà, 2017).

CONCLUSIONES

El instrumento de medición sobre hábitos alimenticios para estudiantes de licenciatura de la Universidad Autónoma de Coahuila con un coeficiente alfa de Cronbach de 0.77 determinó que los factores Emoción del Momento, Cultura del Individuo, Familia y Amigos, y Sabores y Estado de Ánimo son los que más influyen en la tipo de ingesta alimentaria de los estudiantes, siendo el factor de Estado de Ánimo (alegre o triste) el que más influencia tiene sobre la elección de sabores dulces, amargo o ácido y el factor de Emoción del Momento el que influye sobre la necesidad de ingesta de alimentos y la cantidad de calorías consumidas, mientras el factor Cultura del Individuo denotó que las celebraciones sociales tienen un efecto en el tipo y cantidad de alimentos consumidos, y el factor Familia y Amigos marca que la ingesta alimentaria es más placentera cuando se realiza en compañía. Por último, el factor Indiferencia remarca que los encuestados denotan interés en el contenido nutricional de los alimentos que se consumen y el sabor de éstos, mientras el factor Efecto del Alimento demostró que los encuestados relacionan sentirse bien al consumir alimentos caseros o que han sido preparados por alguien más y que los alimentos visualmente agradables les resultan con un mejor sabor. Todos los factores evaluados indican una influencia directa o indirectamente con el estado emocional del encuestado, ya sea por convivencia familiar o social y evalúan la relación de estos con el estado de ánimo del individuo y su relación con el tipo, cantidad y calidad del alimento consumido.



Anexo A. Cuestionario sobre hábitos alimenticios

Fecha _____ Edad: _____
 Género: Masculino ___ Femenino ___ Otro ___ Estudia y trabajas: Sí ___ No ___

Contesta marcando con una X la opción que más se ajuste a tu caso de entre las siguientes 5 posibles respuestas.

1. Totalmente en desacuerdo
2. En desacuerdo
3. Ni en acuerdo ni en desacuerdo
4. De acuerdo
5. Totalmente de acuerdo



	1	2	3	4	5
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

REFERENCIAS

Alarcón, R.M., Troncoso, P.C., Amaya, P.A., Sotomayor, C.M. & Amaya, P.J.P. (2019). Alimentación saludable en estudiantes de educación superior en el sur de Chile. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 21(1): 41-52. DOI: <https://doi.org/10.17533/udea.penh.v21n1a04>.

Anger, V. & Katz, M. (2015). Relación entre IMC, emociones percibidas, estilo de ingesta y preferencias gustativas en una población de adultos. *Actualización en Nutrición*. 16: 31-36. Biblioteca Virtual em Saúde. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/lil-771524> Fecha de Consulta:



29 de marzo de 2024.

- Aranceta, B.J. (2023). Gastronomía científica, salud, sabor y sostenibilidad: Las 12 "eses" de la gastronomía saludable. *Rev Esp Nutr Comunitaria*. 29: 1-26. Disponible en: https://www.renc.es/imagenes/auxiliar/files/RENC_2023_2_Gastronomia_salud_sabor_sostenibilidad_12_eses_J_Aranceta%281%29.pdf. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Bautista, H.A.C. & Meléndez, T.J.M. (2021). Comer en la calle. Rasgos, espacios y prácticas en la ciudad de Hermosillo, Sonora. *Estud. soc. Rev. aliment. contemp. desarro.* 30(55): 1-25. DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v30i55.842>.
- Benarroch, A., Pérez, S. & Perales, J. (2011). Factores que influyen en las conductas alimentarias de los adolescentes: Aplicación y validación de un instrumento diagnóstico. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*. 9(3): 1219-1232. DOI: <https://doi.org/10.25115/ejrep.v9i25.1502>
- Cardoso, M.M. (2006). La cultura como configurador de estilos alimentarios antagónicos al tratamiento médico contra la diabetes. cultura, dieta y diabetes. *Cuicuilco*. 13(37): 129-142. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=35103707>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Centurión, H.D., Espinosa, M.J., Baeza, M.L. & García, C.J.A. (2021). Comidas y bebidas en celebraciones y ritos como rasgo de identidad cultural tabasqueña. *Estud. soc. Rev. aliment. contemp. desarro. reg.* 31(57): 1-28. DOI: <https://doi.org/10.24836/es.v31i57.1055>.
- Choque, Q.B.M., Mamani, M.M. & Rivera, K. (2023). Consumo de Alimentos Procesados y Ultraprocesados, y su Relación con la Actividad Física en Adolescentes. *Comuni@cción: Revista de Investigación en Comunicación y Desarrollo*. 14(2): 111-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.33595/2226-1478.14.2.838>.
- da Silva, F.C., Gonçalves, E., Arancibia, B.A., Bento, G., Castro, T.L., Hernández, S.S. & Da Silva, R. (2015). Estimadores de consistencia interna en las investigaciones en salud: el uso del coeficiente alfa. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 32(1): 129-38. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rins/v32n1/a19v32n1.pdf>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Diggins, A., Woods, G.C. & Waters, S. (2015). The association of perceived stress, contextualized stress, and emotional eating with body mass index in college-aged Black women. *Eat Behav*. 19: 188-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2015.09.006>.

- Dip, G. (2019). La alimentación: factores determinantes en su elección. *Revista de Divulgación Científica de la Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUYO*. 10: 1-3. Disponible en: https://bdigital.uncuyo.edu.ar/objetos_digitales/18446/10-dip-glady.-la-alimentaci-on-factores-determinantes-en-su-eleccin.pdf. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Dolores, M.G., Delgado, P.D. & Creed, K.H. (2015). Estrategias empleadas por las madres durante el proceso de alimentación en niños de 6 a 24 meses de dos comunidades rurales de Lima, Perú. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*. 32(3): 440-8. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=36342789005>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Domínguez, S.J., Álvarez, P.V.M., Sánchez, C.N., Mendoza, P.D.E., Visconti, P. & Velázquez, R. (2021). Determinación de la aceptación de alimentos mediante reacciones fisiológicas del consumidor: un enfoque basado en aprendizaje automático. *Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologías de Informação, Losuada. RISTI*. E43(07): 418-434. Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2562269991>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Durà, C.M. (2017). Neurogastronomía: la influencia del oído y la vista en el sabor. [Tesis de Maestría, Universidad internacional de la Rioja]. REUNIR Repositorio Digital. <https://reunir.unir.net/handle/123456789/6177>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Escandón, N.N., Apablaza, S.J., Novoab, S.M., Osorio, T.B. & Barrera, H.A. (2021). Factores predictores asociados a conductas alimentarias de riesgo en universitarios chilenos. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*. 41(2): 45-52. DOI: <https://doi.org/10.12873/412barrera>.
- Farfán, L.M., Estrada, A.E.G., Lavilla, C.W.G., Ulloa, G.N.J., Calcina, Á.D.A., Meza, O.L.A., Yancachajlla, Q.L.I. & Rengifo, R.S.S. (2023). Mental health in the post-pandemic period: Depression, anxiety, and stress in Peruvian university students upon return to face-to-face classes. *Sustainability*. 15(15): 11924. DOI: <https://doi.org/10.3390/su151511924>.
- Ferrara, M., Langiano, E., Falese, L., Diotaiuti, B.P., Cortis, C. & De Vito, E. (2022). Changes in Physical Activity Levels and Eating Behaviours during the COVID-19 Pandemic: Sociodemographic Analysis in University Students. *Int J Environ Res Public Health*. 19(9): 5550. DOI: [10.3390/ijerph19095550](https://doi.org/10.3390/ijerph19095550).
- Hernández, C.D.M., Angel, G.M., Vázquez, C.J.C., Lima, C.A.B., Vázquez, J.C.L. & Colunga, R.C. (2021). Hábitos de alimentación asociados a sobrepeso y obesidad en adultos mexicanos: una revisión integrativa. *Ciencia y Enfermería*. 27(7): 1-13. DOI: <http://dx.doi.org/10.29393/ce27-7hadh60007>.

- Hernández, G.D., Arencibia, M.R., Linares, G.D., Murillo, P.D.C., Bosques, C.J.J. & Linares, M.M. (2021). Condición nutricional y hábitos alimentarios en estudiantes universitarios de Manabí, Ecuador. *Revista Española de Nutrición Comunitaria*. 27(1). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7855078>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Hernández, M., Martínez, B., Almirón, R.E., Pérez, D.S., Blanco, R., Navas, C.S. & Martínez, J.A. (2017). Influencia multisensorial sobre la conducta alimentaria: ingesta hedónica. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*. 65(2): 114-125. DOI: 10.1016/j.endinu.2017.09.008.
- Husted, S., Rodríguez, G.O. & Caldera, J.H. (2022). La estrategia de comunicación en la publicidad de Kellogg's: el reto de informar al consumidor ante la implementación de la Norma-051 en México. *Instituto de Arquitectura Diseño y Arte*. pp. 261-270. Disponible en: <http://cathi.uacj.mx/20.500.11961/24887>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Mamani, R.M., Estrada, A.E.G., Mamani, R.M.R., Aguilar, V.R.A., Jara, R.F. & Roque, G.C.E. (2023). Actividad física y hábitos alimentarios en estudiantes universitarios: Un estudio correlacional. *Salud, Ciencia y Tecnología*. 3: 627. DOI: <https://doi.org/10.56294/saludcyt2023627>.
- Manjarres, T.I. & Lozada, L.M. (2023). Hábitos alimenticios y rendimiento académico en estudiantes universitarios. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*. 4(1): 40-53. DOI: <https://doi.org/10.56712/latam.v4i1.222>.
- Mazariegos, M. (2020). Desarrollo de preferencias alimentarias saludables en etapas tempranas de la vida. *Revista de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 70(4): 282-289. DOI: <https://doi.org/10.37527/2020.70.4.006>.
- Moscattelli, F., De Maria, A., Marinaccio, L.A., Monda, V., Messina, A., Monacis, D., Toto, G., Limone, P., Monda, M., Messina, G., Monda, A. & Polito, R. (2023). Assessment of lifestyle, eating habits and the effect of nutritional education among undergraduate students in Southern Italy. *Nutrients*. 15(13): 2894. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15132894>.
- Murillo, O.O. & Amaya, M.C. (2009). Panorama de prácticas de alimentación de adolescentes escolarizados. *Avances en Enfermería*. 26(2): 34-53. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-45002009000200006. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Ordoñez, M.J., Andueza, G., Oliva, Y. & Santana, A. (2023). Hábitos alimentarios en una muestra de estudiantes universitarios de Yucatán. *South Florida Journal of Development, Miami*. 4(1): 64-77. DOI: <https://doi.org/10.46932/sfjdv4n1-004>.

- Osorio, H., Osorio, D., Quiroz, O.L., García, A., Londoño, D. & Quintero, M.A. (2023). Estado de ansiedad y comportamientos relacionados con la alimentación de los deportistas del departamento de Antioquia durante la medida de aislamiento obligatorio por covid-19. *Medicina UPB*. 42(1): 20-29. DOI: https://doi.org/10.18566/me_dupb.v42n1.a04.
- Palomino, A.M. (2020). Rol de la emoción en la conducta alimentaria. *Rev. Chil. Nutr.* 47(2): 286-291. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182020000200286>.
- Peña, E. & Reidl, L.M. (2015). Las Emociones y la Conducta Alimentaria. *Acta de Investigación Psicológica*. 5(3): 2182-2193. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-acta-investigacion-psicologica-psychological-111-pdf-S2007471916300084>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Ramón, E., Martínez, B., Granada, J.M., Echániz, E., Pellicer, B., Juárez, R., Guerrero, S. & Sáez, M. (2019). Conducta alimentaria y su relación con el estrés, la ansiedad, la depresión y el insomnio en estudiantes universitarios. *Nutrición Hospitalaria*. 36(6): 1339-1345. DOI: <https://dx.doi.org/10.20960/nh.02641>.
- Rodríguez, R.J. & Reguant, Á.M. (2020). Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació*. 13(2): 1-13. DOI: <https://doi.org/10.1344/reire2020.13.230048>.
- Rojas, A.T. & García, M.M. (2017). Construcción de una Escala de Alimentación Emocional. *Revista Iberoamericana de Diagnóstico y Evaluación Psicológica*. 45(3): 85-95. DOI: <https://doi.org/10.21865/RIDEP45.3.07>.
- Schnettler, B., Mora, M., Mills, N., Miranda, H., Sepúlveda, J., Denegri, M. & Lobos, G. (2012). Tipologías de consumidores según el estilo de vida en relación a la alimentación: un estudio exploratorio en el sur de Chile. *Revista Chilena de Nutrición*. 39(4): 165-172. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182012000400009>.
- Torres, E.C., Santana, Y., Peña, S. & Vanegas, P. (2021). Consumo de alimentos no saludables de un grupo de adolescentes ecuatorianos. *REDIELUZ*. 11(1): 27-35. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/riedeluz/article/view/36918>. Fecha de Consulta: 29 de marzo de 2024.
- Torres, G.D.K. (2021). Leer para poder interpretar. La importancia de revisar las etiquetas de productos alimenticios en México. *RD - ICUAP*. 7(21): 126-142. DOI: <https://doi.org/10.32399/icuap.rdic.2448-5829.2021.21.613>.



EVALUACIÓN DEL CRECIMIENTO URBANO DE SALTILLO, COAHUILA MEDIANTE TÉCNICAS DE UMBRALIZACIÓN DE IMÁGENES SATELITALES

*ASSESSMENT OF URBAN GROWTH IN SALTILLO, COAHUILA
USING SATELLITE IMAGE THRESHOLDING TECHNIQUES*

FERNANDO CLEMENTE COVARRUBIAS
VELÁZQUEZ

JORGE SEBASTIÁN FUENTES DE LA
CRUZ

JOSUÉ GÓMEZ CASAS

CARLOS ALBERTO TORO ARCILA

JESÚS SALVADOR GALINDO VALDÉS

CÉSAR CARRILLO HERNÁNDEZ

JONATHAN SEBASTIÁN OBREGÓN
FLORES

DANIELA ESTEFANÍA ORTIZ RAMOS

Facultad de Ingeniería,
Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
jogomezcc@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-1136-3187>

RESUMEN

El aumento de la temperatura se ha convertido en una gran preocupación en el siglo XXI, especialmente en ciudades en expansión. Actualmente, el crecimiento urbano en Saltillo, Coahuila enfrenta desafíos significativos, incluyendo altos costos de mantenimiento y problemas ambientales graves como la deforestación y destrucción de hábitats naturales, lo que ha llevado a la formación de islas de calor urbanas. Este estudio propone una metodología para detectar la evolución de la urbanización a través de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes en Saltillo del año 1960 hasta el año 2023, utilizando técnicas de visión por computadora para evaluar su relación. Los resultados obtenidos revelan que el crecimiento urbano descontrolado en Saltillo ha influido significativamente en el incremento de las temperaturas locales, contribuyendo de manera notable al fenómeno de isla de calor urbana. La metodología propuesta ofrece una herramienta valiosa para la planificación urbana al proporcionar una evaluación basada en umbralización de la urbanización. La implementación del algoritmo propuesto demostró un crecimiento urbano de 4.8 % en 1960, para 1990 el porcentaje de urbanización aumentó significativamente hasta el 35.12 % y para el año de 2023 el área urbanizada alcanzó un notable 86.77 %. Esta metodología puede ser aplicada a otras ciudades para evaluar patrones de urbanización y sus efectos ambientales mediante técnicas de visión por computadora.

Palabras clave: *análisis de imágenes satelitales; urbanización; cambio climático; temperatura; islas de calor urbanas.*

Fecha de recepción
26 de febrero de 2025.

Fecha de aceptación
18 de marzo de 2025.

ABSTRACT

The increase in temperature has become a big concern in the 21st century, especially in expanding cities. Currently, urban growth in Saltillo, Coahuila faces significant challenges, including high maintenance costs and serious environmental issues such as deforestation and destruction of natural habitats, leading to the formation of urban heat islands. This study proposes a methodology to detect the evolution of urbanization through advanced image processing techniques in Saltillo from 1960 to 2023, using computer vision techniques to assess its relationship. The results reveal that uncontrolled urban growth in Saltillo has significantly influenced the increase in local temperatures, notably contributing to the urban heat island phenomenon. The proposed methodology offers a valuable tool for urban planning by providing an assessment based on urbanization thresholding. The implementation of the proposed algorithm showed urban growth of 4.8% in 1960, with urbanization increasing significantly to 35.12% by 1990 and reaching a notable 86.77% urbanized area by 2023. This methodology can be applied to other cities to assess urbanization patterns and their environmental effects using computer vision techniques.

Keywords: *satellite image analysis; urbanization; climate change; temperature; urban heat islands.*

INTRODUCCIÓN

El crecimiento urbano acelerado es un fenómeno global que plantea

problemas tanto en términos de planificación como financieros debido a su gran costo de mantenimiento y el impacto que provoca en el medio ambiente (Grekousis, 2019), lo que se traduce en un impacto ambiental significativo entre ellas el aumento de las temperaturas urbanas y la formación de islas de calor causado por la edificación descontrolada en Saltillo, Coahuila (Cortez y col., 2016). El aumento de temperatura se ve agravado por la deforestación de los entornos naturales, lo que intensifica aún más este fenómeno climático. La falta de una gestión adecuada de la urbanización conduce a un incremento en la construcción de edificaciones, las cuales absorben y retienen el calor, generando un efecto de isla de calor urbano en Saltillo. Es fundamental abordar estos desafíos con políticas urbanas sostenibles que promuevan un crecimiento equilibrado y respetuoso con el medio ambiente. La planificación urbana adecuada, la inversión en infraestructuras verdes y la conservación de espacios naturales son medidas esenciales para mitigar el impacto del crecimiento urbano en el aumento de la temperatura en Saltillo y garantizar un desarrollo urbano más sostenible en el futuro (Mendoza-Hernández y col., 2013).

La visión por computadora, a través del procesamiento de imágenes, plantea una forma de medir esta problemática, mediante esta técnica se busca cuantificar el crecimiento utilizando la técnica de umbralización en imágenes satelitales de la ciudad (Szeliski, 2022). Las imágenes satelitales fueron obtenidas a través del software QGIS (Quantum GIS), las cuales fueron utilizadas como entrada del sistema para cuantificar el crecimiento urbano (Xu y col., 2021). Esta técnica se propone como una solución para medir de forma automática el crecimiento de la urbanización y su relación con el aumento de la temperatura ambiental en la ciudad de Saltillo, Coahuila de Zaragoza, México.

La economía de la ciudad de Saltillo se basa en la industria automotriz desde inicios de la década de los ochenta, por lo tanto, los proveedores de autopartes se asentaron en la región para facilitar la comunicación, la producción y la logística de la cadena productiva del ensamble de vehículos. Con el paso del tiempo, el clúster automotriz en la región

sureste del estado de Coahuila se ha afianzado como uno de los más importantes del norte del país (Rodríguez Pérez y col., 2021), la planificación urbana en Saltillo es un proceso que está intrínsecamente ligado a una serie de parámetros legales y regulaciones (Levy y col., 2009). El crecimiento no planificado de las ciudades conduce a la generación de islas de calor urbano, donde las superficies pavimentadas y la falta de áreas verdes absorben y retienen el calor, elevando las temperaturas locales (Romero y Vásquez, 2005), este no solo afecta el confort térmico de los residentes urbanos, sino que también tiene implicaciones más amplias en la salud pública y el medio ambiente, como el aumento de enfermedades relacionadas con el calor, mayor consumo energético, así como la alteración de ecosistemas urbanos (Pérez, 2003). La falta de un indicador estandarizado para la gestión de recursos hídricos urbanos añade una capa adicional de complejidad a este desafío (Koop y van Leeuwen, 2015). La disponibilidad de agua y su calidad son elementos críticos en la planificación urbana y el desarrollo sostenible.

El programa PRONACES (Programas Nacionales Estratégicos) de SECIHTI (La Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación) menciona la importancia de la implementación de estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático, así como políticas de planificación urbana que prioricen la resiliencia y la sostenibilidad. Estas medidas son fundamentales para abordar los desafíos presentes y futuros relacionados con la temperatura y otros aspectos de la urbanización en Saltillo. La creación de infraestructuras verdes ofrece soluciones a largo plazo para mejorar la calidad de vida de los habitantes y garantiza la sostenibilidad de los entornos urbanos y regionales (Bojórquez y Aguilar, 2015). Sin embargo, los métodos convencionales para medir el crecimiento urbano son laboriosos, propensos a errores humanos y limitados en su capacidad para procesar grandes volúmenes de datos. Estos enfoques tradicionales, como las encuestas de campo y la interpretación visual manual de imágenes satelitales, suelen ser lentos y costosos, lo que limita su aplicabilidad en estudios a gran escala y en tiempo real. Según los datos de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales de México (SEMARNAT) (Perevochtchikova, 2013), se ha

observado un cambio en el uso del suelo urbano debido a las condiciones climáticas cambiantes. El aumento urbano presenta del 9.5 % entre 2001 y 2024, mientras que las zonas agrícolas disminuyen un 5.97 %. Los cuerpos de agua también muestran una reducción del 4.21 % en áreas boscosas (Landa y col., 2008).

La llegada de nuevas tecnologías que podrían facilitar el análisis de imágenes, como el análisis color en imágenes ha demostrado ser una herramienta valiosa para entender los patrones de urbanización y su impacto ambiental como se a demostrado en estudios previos (Divya y col., 2021). La relación entre la urbanización y el clima es crucial; el aumento de la temperatura urbana y las islas de calor, documentados por Buyantuyev y col. (2010) y Kleerekoper y col. (2012) destacan la necesidad de estrategias de diseño urbano sostenible. La segmentación de imágenes, como la técnica RGB-IS utilizada por Shahtahmassebi y col. (2012), proporciona una herramienta para monitorear los cambios en el uso del suelo urbano y evaluar el impacto de la urbanización en el medio ambiente. Los mapas de uso del suelo de alta resolución, producidos utilizando imágenes de satélite y técnicas de segmentación, son una herramienta valiosa para comprender la dinámica de la urbanización y su impacto en el medio ambiente (Bartesaghi-Koc y col., 2021). Estos mapas no solo proporcionan una representación visual de la expansión urbana, sino que también permiten evaluar la pérdida de áreas verdes y la fragmentación del paisaje urbano. La capacidad para identificar y monitorear cambios en la infraestructura urbana, como la expansión de carreteras y edificios, puede ayudar a prevenir y mitigar los riesgos asociados con la urbanización rápida y no planificada. Los resultados obtenidos por Li y col. (2017) demuestran que las estructuras de edificios son multidimensionales y ofrecen oportunidades para comprender mejor los procesos de cambio urbano y sus implicaciones ambientales. La integración de técnicas de segmentación de imágenes en la planificación urbana representa una herramienta valiosa para apoyar la gestión urbana sostenible. Su aplicación no se limita a estas áreas, también puede emplearse para realizar un seguimiento de los cambios, como el uso del suelo, la infraestructura, la densidad poblacional, el

medio ambiente y la configuración del paisaje urbano, proporcionando información relevante para una amplia gama de tomadores de decisiones (Chapa y col., 2019).

A diferencia de enfoques previos, este trabajo introduce un método combina técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para mejorar la precisión en la detección de cambios urbanos, ofreciendo una contribución significativa a la planificación y gestión de las ciudades. Para este proyecto, se utilizaron imágenes tomadas por un helicóptero desde la década de los sesenta e imágenes satelitales actuales obtenidas del software QGIS (Quantum GIS).

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología mostrada en la Figura 1 fue empleada para analizar el crecimiento urbano en el municipio de Saltillo, Coahuila, a través de imágenes satelitales y se fundamenta en técnicas avanzadas de visión por computadora, específicamente en el procedimiento de umbralización de imágenes.

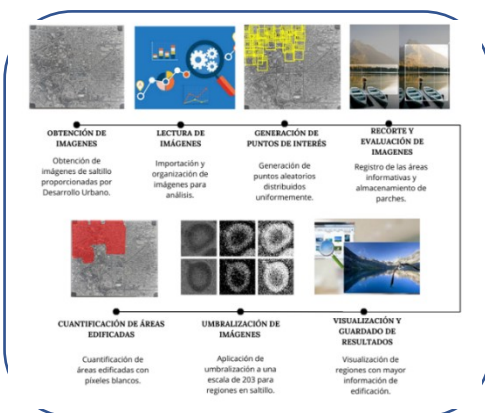


Figura 1. Metodología utilizada para realizar el proceso de umbralización de imágenes.

Este enfoque permite una interpretación precisa y objetiva de las transformaciones en el paisaje urbano, facilitando la identificación de áreas construidas y no construidas en función de las variaciones en la intensidad de los píxeles como se

presenta en el diagrama de flujo en la Figura 2. Así, se obtiene una representación clara y detallada de la evolución algorítmica del entorno urbano, lo que posibilita la toma de decisiones informadas para una planificación más sostenible.



Figura 2. Diagrama de flujo del algoritmo de umbralización para el análisis del crecimiento urbano.

OBTENCIÓN DE IMÁGENES

Las imágenes fueron obtenidas en 1960 mediante medios aéreos, proporcionadas por la Dirección de Desarrollo Urbano del Municipio de Saltillo, Coahuila; mientras que las más recientes provienen de satélites.

LECTURA DE IMÁGENES

Las imágenes fueron organizadas y cargadas en la memoria del algoritmo para su posterior análisis, de manera que todas las imágenes relevantes fueran procesadas de manera sistemática. La Tabla 1 describe el proceso de segmentación y anotación de estas imágenes. En primer lugar, se cargan y recortan para su procesamiento, después se generan cuadros de segmentación alrededor de las subregiones de la imagen, basados en los centros previamente identificados. A cada subregión se le asigna una etiqueta y se realiza una anotación en la imagen original,



añadiendo rectángulos. Posteriormente, cada subregión se convierte a formato binario, y se calcula la suma de los píxeles blancos, lo cual se utiliza para evaluar su densidad de información. Finalmente, las subregiones procesadas se almacenan para análisis posteriores.

Tabla 1. Segmentación de imágenes

Algoritmo 1 Pseudocódigo general para la segmentación de imágenes	
1.	Entrada: imágenes satelitales en una carpeta especificada
2.	Salida: sub-imágenes seleccionadas con las áreas más desarrolladas.
3.	Definir la ruta de la carpeta con las imágenes satelitales.
4.	Obtener una lista de los archivos de imagen y ordenarlos en forma natural.
5.	Cargar todas las imágenes en una matriz multidimensional.
6.	Definir parámetros para la <i>segmentación</i> : <i>número_de_grupos</i> , <i>máximas_iteraciones</i> , tolerancia.
7.	Para cada imagen cargada hacer :
8.	Redimensionar la imagen.
9.	Aplicar <code>SEGMENTARIMAGEN</code> para obtener la imagen segmentada y los centros de los grupos detectados.
10.	Definir cuadros alrededor de los centros.
11.	Generar sub-imágenes basadas en los cuadros definidos.
12.	Convertir las sub-imágenes en binarias y calcular la suma de píxeles blancos.
13.	Ordenar y seleccionar las regiones más desarrolladas basándose en las sumas calculadas.
14.	Anotar la imagen original con las regiones seleccionadas.
15.	Guardar las regiones seleccionadas en matrices para el siguiente paso
16.	Fin para
17.	Mostrar la última imagen procesada con anotaciones.
18.	Para cada sub-imagen seleccionar hacer .
19.	Guardarla en formato PNG con un nombre único.
20.	Fin para
21.	Fin

GENERACIÓN DE PUNTOS DE INTERÉS

Se generaron centroides en las imágenes con el objetivo de identificar áreas potenciales de interés. Estos puntos fueron distribuidos de manera que se minimizara la superposición entre ellos, utilizando la distancia Euclidiana para asegurar que cubrieran adecuadamente la imagen sin



concentrarse demasiado en áreas cercanas entre sí. En este caso, en la Tabla 2, para determinar el agrupamiento, se identifica el centroide más cercano a cada píxel para asignarlo a su grupo correspondiente. La distribución de los puntos se realizó de tal forma que se mantuviera una distancia mínima entre ellos, garantizando una cobertura uniforme de la imagen.

La distancia euclidiana cuadrada entre un píxel $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ y un centroide $c_j=(c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jn})$ es mostrado en la ecuación (1):

$$d^2(p, c_j) = \sum_{k=1}^n (p_k - c_{j|k|})^2 \quad (1)$$

La ecuación (1) representa la distancia euclidiana cuadrada entre un punto p y un centroide c_j en un espacio n -dimensional. Aquí, $p=(p_1, p_2, \dots, p_n)$ es un vector que define las coordenadas del punto, mientras que $c_j=(c_{j1}, c_{j2}, \dots, c_{jn})$ es el vector de coordenadas del centroide. La expresión $(p_k - c_{j|k|})^2$ calcula la diferencia cuadrada entre las coordenadas k -ésimas del punto y el centroide. La suma $\sum_{k=1}^n x$ acumula estas diferencias cuadradas a través de todas las dimensiones del espacio. Esta formula es ampliamente utilizada en algoritmos de agrupamiento como k -means (Ikotun y col., 2023), ya que permite medir la proximidad relativa entre puntos y centroides sin necesidad de calcular la raíz cuadrada, optimizando así el rendimiento computacional.

Tabla 2. Agrupamiento de datos.

Algoritmo 2 Función de segmentación de imágenes
1. Entrada: <i>imagen, numero-de-grupos, máximas-iteraciones, tolerancia</i>
2. Salida: Imagen segmentada y centros detectados.
3. Convertir la imagen en una lista de píxeles.
4. Inicializar los centros de los grupos de manera aleatoria.
5. Para cada iteración desde 1 hasta <i>máximas-iteraciones</i> hacer
6. Calcular la distancia de cada píxel a los centros.
7. Asignar cada píxel al centro más cercano.
8. Calcular nuevos centros basados en los píxeles más cercanos.



9.	Verificar la convergencia comparando los nuevos centros con los anteriores.
10.	Si la convergencia es alcanzada entonces
11.	Detener iteraciones
12.	Fin si
13.	Fin para
14.	Reconstruir la imagen segmentada
15.	Devolver los centros detectados
16.	Fin
17.	Guardarla en formato PNG con un nombre único.
18.	Fin para
19.	Fin

RECORTE Y EVALUACIÓN DE IMÁGENES

En el Tabla 2, se presenta como se lleva a cabo el procesamiento de las subregiones de las imágenes, ordenándolas según su intensidad y seleccionando las más relevantes. Posteriormente, se asignan etiquetas a cada subregión y se anotan en la imagen original con cuadros delimitadores. Tras procesar las subregiones, las imágenes recortadas se guardan en archivos individuales. A partir de los puntos generados, se extrajeron parches de tamaño 128x128 píxeles de cada imagen. Cada subimagen fue evaluada según su contenido informativo, transformándolo en una imagen binaria y calculando la cantidad de píxeles blancos, lo cual refleja la densidad de información. Los parches con mayor cantidad de información fueron seleccionados para un análisis más detallado.

VISUALIZACIÓN Y GUARDADO DE RESULTADOS

Se visualizó la Figura 3 original con anotaciones que indicaban la ubicación de los puntos con mayor información. Esta visualización facilitó la identificación de las áreas más significativas dentro de las imágenes. Los parches destacados fueron almacenados como archivos individuales para su análisis y uso posterior. Este enfoque permitió identificar y extraer áreas de alta densidad de datos en las imágenes de Saltillo, facilitando un análisis más detallado y enfocado en estas regiones

estratégicas.

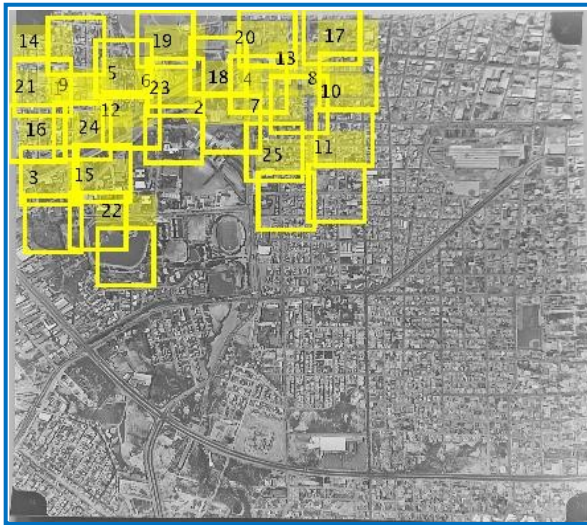


Figura 3. Zona de Saltillo, Coahuila, seleccionada en regiones delimitadoras para el análisis.

UMBRALIZACIÓN DE IMÁGENES

El proceso comenzó con la obtención de imágenes proporcionadas por el área de desarrollo urbano, en formato de escala de grises, se aplicó un umbral de segmentación, seleccionando un valor de $T=203$ para mejorar la segmentación en la escala de grises, en función de la clase de intensidad de los píxeles. Este valor fue elegido tras una serie de pruebas de segmentación, buscando un equilibrio entre la separación adecuada de las áreas urbanas y la minimización de errores de clasificación. Este umbral se ajustó de forma que los píxeles con una intensidad entre 0 y 203 se agruparon como fondo, mientras que aquellos con una intensidad superior a 203 se clasificaron como parte del primer plano. Como resultado, la imagen se dividió en dos categorías: áreas construidas y áreas no construidas. En la imagen binaria resultante, los píxeles que superaron el umbral se asignaron al primer plano y se representaron en blanco, indicando áreas construidas, mientras que los píxeles que no alcanzaron el umbral se clasificaron como fondo y se mostraron en negro, representando áreas no construidas. Específicamente, los píxeles con valores de intensidad $i < 203$, que corresponden a tonalidades más

oscuras e intermedias, se agruparon como fondo (áreas no construidas). En cambio, los píxeles con $i > 203$, que presentan tonalidades más claras (cercanas a 255) y representan zonas más brillantes o áreas de interés, se asignaron al primer plano, clasificándose como áreas construidas.

CUANTIFICACIÓN DE ÁREAS EDIFICADAS

Para cuantificar la extensión de las áreas edificadas, medida en términos de la cantidad de píxeles en la imagen, se calculó el total de píxeles presentes en la imagen segmentada, así como el porcentaje de área edificada en función de los píxeles blancos detectados en cada región de interés. Este cálculo se expresa mediante la ecuación (2).

$$Total_{\text{píxeles}} = IS_0 \times IS_1 \quad (2).$$

Donde IS_0 representa el número de filas de la imagen segmentada y IS_1 representa el número de columnas. Luego, se calculó el porcentaje de área edificada en función de la cantidad de píxeles blancos detectados en cada región de interés de la siguiente forma en la ecuación (3):

$$Porcentaje = \frac{\text{Conteo de Píxeles segmentados}}{\text{Total de píxeles}} \times 100 \quad (3).$$

RESULTADOS

En la Figura 4 se muestra el desarrollo urbano en la década de 1960 en Saltillo, la ciudad carecía de la densidad edificatoria de otras urbes, se identificaba un potencial latente en su estructura urbana, se basaba en



aspectos como su ubicación estratégica, recursos naturales y su capacidad para atraer inversión y talento humano.

En la Figura 5, se puede observar que para el año 2023 se presentan áreas con una densificación más marcada, este crecimiento también planteaba desafíos, siendo uno de los más destacados el aumento notable de la temperatura. Esta tendencia climática podía atribuirse, al menos en parte, al proceso de urbanización en curso, que modificaba el entorno natural.



Figura 5. Saltillo en el año 2023,

Figura 4. Saltillo, Coahuila al inicio de su época de desarrollo en 1960.

mostrando un nivel alto de edificación.

Durante el 2016, se experimentó un auge considerable en el sector de la construcción, lo que expuso la falta de preparación de la infraestructura existente, la falta de una planificación adecuada se reflejó especialmente en los errores de segmentación detectados en la distribución urbana. Tales errores pueden haber incluido una asignación desequilibrada de zonas residenciales, comerciales e industriales, así como una planificación inadecuada de las vías de acceso y tránsito.

DETECCIÓN DE URBANIZACIÓN POR TÉCNICAS DE VISIÓN POR COMPUTADORA

La Figura 6 representa la detección de áreas urbanizadas en Saltillo, la cual se realizó mediante técnicas de visión por computadora, específicamente utilizando la técnica de umbralización en imágenes en escala de grises, permitió identificar y analizar las zonas edificadas, facilitando la evaluación de la expansión urbana. El análisis del crecimiento urbano mediante la umbralización de imágenes históricas ha permitido identificar un patrón de expansión significativa en las áreas



construidas de Saltillo a lo largo de las últimas siete décadas. En la Tabla 3 se observan los resultados obtenidos para los años 1960, 1990 y 2023, reflejando la evolución de la urbanización.



Figura 6. Detección de zonas edificadas a través de umbralización.

Tabla 3. Crecimiento urbano por medio de análisis de umbralización.

Año de imagen analizada	Porcentaje total de urbanización	Crecimiento respecto a años pasados
1960	4.86%	Sin datos
1990	35.12 %	30.26%
2023	86.77 %	51.65 %

En 1960, las áreas urbanizadas representaban solo el 4.86 % del territorio total analizado. Para 1990, el porcentaje de urbanización aumentó a 35.12 %, lo que supone un incremento del 30.26 % con respecto a 1960, lo anterior asociado con diversos factores, como el aumento de la población y el crecimiento económico. En 2023, el área urbanizada alcanzó un notable 86.77 %, lo que representa un incremento del 51.65 % desde 1990. Este cambio refleja una aceleración significativa en el proceso de urbanización, probablemente impulsada por el continuo crecimiento poblacional.

Al analizar los datos utilizando segmentación, se logró identificar y comparar las áreas con mayor crecimiento de edificaciones en Saltillo. En la Figura 7, las zonas marcadas en rojo destacan las áreas con un

incremento significativo en la urbanización. La combinación de segmentación y umbralización en imágenes en escala de grises utilizando como referencia los mapas de calor proporcionados por desarrollo urbano y los resultados de los algoritmos presentados en las Tablas 1 y 2 proporcionaron una herramienta poderosa para visualizar el cambio en la distribución de edificaciones a lo largo del tiempo, lo que es clave para el estudio del crecimiento urbano y su impacto en la planificación de la ciudad.

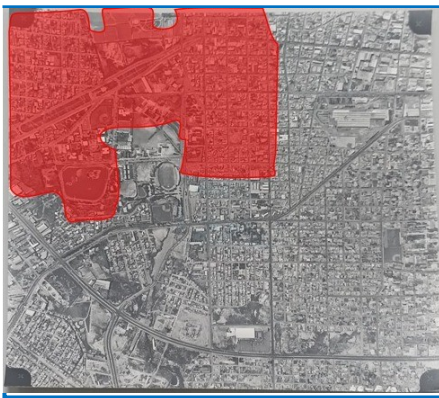


Figura 7. Resultados en segmentación de áreas con mayor crecimiento en la zona de análisis.

DISCUSIÓN

Desde 2004, la SEMARNAT ha registrado un aumento progresivo en las temperaturas mensuales. Este incremento de la temperatura ha impactado en el desarrollo urbano de Saltillo. El histograma de la Figura 8 subraya un cambio climático significativo en Saltillo, Coahuila, México, que se ha evidenciado desde 2004, interrumpiendo una estabilidad climática que prevalecía desde décadas atrás. Este aumento de temperatura coincide con un período de crecimiento demográfico rápido

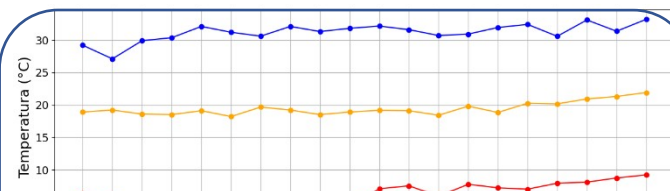


Figura 8. Comportamiento de la temperatura desde el año 2004 hasta el año 2023 en Saltillo Coahuila.

y significativo en la ciudad, la expansión metropolitana ha desencadenado un fenómeno conocido como "isla de calor urbana", donde las

áreas urbanas absorben y retienen el calor, intensificando tanto las temperaturas veraniegas como invernales (Palme y col., 2024). Es crucial reconocer que la crisis climática no solo impacta el entorno natural, sino que también tiene repercusiones directas en la calidad de vida y la salud de los habitantes de Saltillo. El aumento de las temperaturas puede agravar problemas de salud, además de generar nuevos desafíos, como el estrés térmico en la población. Además, la alteración del clima puede afectar la seguridad alimentaria y el suministro de agua en la ciudad.

CONCLUSIONES

Este estudio ha demostrado de manera efectiva cómo las técnicas de umbralización y segmentación de imágenes satelitales han permitido cuantificar el notable aumento de urbanización en Saltillo, el cual ha escalado del 4.86% en 1960 a un impactante 86.77% en 2023. La segmentación ejecutada ha facilitado la identificación de áreas críticas de desarrollo y la creación de islas de calor urbano, evidenciando un aumento de temperatura significativo en la región. Desde 2004, las temperaturas han incrementado, reflejando no solo el cambio climático, sino también las repercusiones directas del desarrollo urbano no planificado. Los datos técnicos obtenidos respaldan la urgente necesidad de políticas urbanas sostenibles. Los resultados cuantitativos obtenidos, junto con la efectividad del proceso de umbralización, subrayan el impacto del crecimiento descontrolado en la calidad de vida de los habitantes, acentuando problemas de salud y comprometiendo la seguridad alimentaria y el suministro de agua. Por último, es vital adoptar estrategias de planificación urbana que integren tanto el crecimiento económico como la protección ambiental. La implementación de infraestructuras verdes y la conservación de áreas naturales son esenciales para mitigar los efectos adversos del crecimiento urbano. Como trabajo a futuro se pretende extender la

metodología presentada para el análisis de diferentes ciudades a través de técnicas de aprendizaje automático mediante banco de imágenes satelitales.

REFERENCIAS

- Bartasaghi-Koc, C., Haddad, S., Pignatta, G., Paolini, R., Prasad, D., and Santamouris, M. (2021). Can urban heat be mitigated in a single urban street? monitoring, strategies, and performance results from a real scale redevelopment project. *Solar Energy*, 216: 564–588.
- Bojórquez, G.C. and Aguilar, M.d.L.R. (2015). Gobernanza climática: actores sociales en la mitigación y adaptación en el estado de Coahuila, México. *Noesis. Revista de Ciencias Sociales y Humanidades*, 24(47- 2): 129–146.
- Buyantuyev, A., Wu, J., and Gries, C. (2010). Multiscale analysis of the urbanization pattern of the phoenix metropolitan landscape of usa: Time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4): 206–217.
- Chapa, F., Hariharan, S., and Hack, J. (2019). A new approach to high-resolution urban land use classification using open access software and true color satellite images. *Sustainability*, 11(19): 5266.
- Cortez, J.H.Z., Guajardo, J.E.G., and González, L.G. (2016). El clima variable a considerar en las empresas- región centro del estado de Coahuila. *Repositorio de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad*, 10.
- Divya, Y., Gopinathan, P., Jayachandran, K., and Al- Quraishi, A.M.F. (2021). Color slices analysis of land use changes due to urbanization in a city environment of miami area, south florida, usa. *Modeling Earth Systems and Environment*, 7(1): 537–546.
- Grekousis, G. (2019). Artificial neural networks and deep learning in urban geography: A systematic review and meta-analysis. *Computers, Environment and Urban Systems*, 74: 244–256.
- Ikotun, A.M., Ezugwu, A.E., Abualigah, L., Abuhaija, B., and Heming, J. (2023). K-means clustering algorithms: A comprehensive review, variants analysis, and advances in the era of big data. *Information Sciences*, 622: 178–210.
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., and Salcedo, T.B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*,



64: 30–38.

- Koop, S.H. and van Leeuwen, C.J. (2015). Assessment of the sustainability of water resources management: a critical review of the city blueprint approach. *Water Resources Management*, 29: 5649–5670.
- Landa, R., Magaña, V., and Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático*. Semarnat.
- Levy, J.M., Hirt, S., and Dawkins, C.J. (2009). *Contemporary urban planning*. Pearson/Prentice Hall Upper Saddle River.
- Li, M., Xu, J., and Zhang, X. (2017). Spatial-sensitivity analysis for urban color planning: Study of luoyang city, china. *Journal of Urban Planning and Development*, 143(1), 05016014.
- Mendoza-Hernández, J.M., Zermeño-González, A., Covarrubias-Ramírez, J.M., and Cortés-Bracho, J.J. (2013). Proyecciones climáticas para el estado de Coahuila usando el modelo precio bajo dos escenarios de emisiones. *Agrociencia*, 47(6): 523–537.
- Palme, M., & Carrasco, C. (2024). Isla de calor en ciudades de Chile: una revisión. Intensidad, variabilidad, impactos y medidas de mitigación. En R. Lemoine-Rodríguez, A. Pérez Vega, & J. F. Mas (Eds.), *Avances en el estudio de islas de calor urbano en América Latina* (pp. 306–328). Universidad de Guanajuato.
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, pp: 283–312.
- Pérez, B.M. (2003). Efectos de la urbanización en la salud de la población. In *Anales Venezolanos de Nutrición*, volumen 16: 97–104. Fundación Bengoa.
- Rodríguez Pérez, R.E., Meza González, L., and Castro Lugo, D. (2021). Impacto de la crisis económica del 2008 en el empleo y salarios de las industrias manufacturera y automotriz de la región sureste de Coahuila de zaragoza. Realidad, datos y espacio. *Revista internacional de estadística y geografía*, 12(1): 4-12.
- Romero, H. and Vásquez, A. (2005). Evaluación ambiental del proceso de urbanización de las cuencas del piedemonte andino de santiago de chile. *Eure (Santiago)*, 31(94): 97–117.
- Shahtahmassebi, A., Yu, Z.I., Wang, K., Xu, H.w., Deng, J.s., Li, J.d., Luo, R.s., Wu, J., and Moore, N. (2012). Monitoring rapid urban expansion using a multi-temporal rgb-impervious surface model. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, 13: 146–158.

Szeliski, R. (2022). *Computer vision: algorithms and applications* (2.^a ed.). Springer Nature.

Xu, S., Wang, J., Shou, W., Ngo, T., Sadick, A.M., and Wang, X. (2021). Computer vision techniques in construction: a critical review. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 28: 3383–3397.

**ESTUDIO DE LA REMOCIÓN DE QUINOLONAS
($C_{12}H_{12}N_2O_3$) COMO CONTAMINANTES EMERGENTES
EN MEDIO ACUOSO UTILIZANDO ARCILLAS
ANIÓNICAS Mg/Fe/Al- CO_3 COMO ADSORBENTES**

*STUDY OF THE REMOVAL OF QUINOLONES ($C_{12}H_{12}N_2O_3$) AS
EMERGING CONTAMINANTS IN AQUEOUS MEDIA USING
MGB/FE/AL- CO_3 ANIONIC CLAYS AS ADSORBENTS*

MARTHA ANGÉLICA LEMUS SOLORIO¹

JOSÉ LUIS RIVERA ROJAS¹

ROBERTO GUERRA GONZÁLEZ²

BRYAN ANGEL ZÁRATE VERDUZCO²

MARÍA ESTHER CÁRCAMO ESCALERA²

OMAR ALFONSO FARÍAS VALLE²

ALFONSO LEMUS SOLORIO²

RESUMEN

El uso desinformado y excesivo de fármacos ha incrementado en las últimas décadas, lo que conlleva a tener consecuencias en la salud y el medio ambiente. Una disposición irregular de contaminantes emergentes, en específico de fármacos y la falta de regulación de estas sustancias en el agua ha llevado a proponer materiales que aporten información sobre su uso en procesos que aporten a la remoción de estos agentes contaminantes. En este trabajo se estudiaron las propiedades físicas y químicas de arcillas aniónicas en el proceso de adsorción de ácido nalidíxico en solución sintética a condiciones de temperatura y pH controladas. La síntesis de los materiales se llevó a cabo con sales metálicas hidratadas como precursores, posteriormente sometiéndose a calcinación a 700°C e hidratando los óxidos dobles laminares con solución de la molécula bioactiva de interés, para este caso ácido nalidíxico (NAL). La estructura cristalina se analizó mediante difracción de rayos X (DRX), mientras que los grupos funcionales se identificaron por FT-IR. Los patrones de difracción de rayos X mostraron un parámetro c , de tamaño interlaminares de 10.85 Å. Por medio de la espectroscopia de IR por transformada de Fourier se analizó la presencia de bandas de absorción correspondientes a los grupos funcionales: OH⁻,

1. Facultad de Ciencias Físicomatemáticas, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.
2. Facultad de Ingeniería Química, Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo.

Correspondencia
1209689x@umich.mx



CienciAcierta

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
13 de mayo de 2025.

CO_3^{2-} , NO_3^- , Al-OH, Mg-OH y Fe-OH y H_2O presentes, el proceso es una fisisorción, es decir que no existe una interacción química donde las moléculas del adsorbato se adhieren a la superficie del adsorbente llevando a cabo la formación de enlaces químicos tendrían presencia en el espectro FTIR.

Palabras clave: aguas residuales; ácido nalidíxico; adsorción; hidrotalcitas sintéticas.

ABSTRACT

The uninformed and excessive use of pharmaceuticals has increased in recent decades, leading to health and environmental consequences. An irregular disposal of emerging pollutants, specifically drugs, and the lack of regulation of these substances in water have led to propose materials that provide information on their use in processes that contribute to the removal of these pollutants. In this work, the physical and chemical properties of anionic clays were studied in the adsorption process of nalidixic acid in synthetic solution at controlled temperature and pH conditions. The synthesis of the materials was carried out with hydrated metal salts as precursors, subsequently subjecting them to calcination at 700°C and hydrating the lamellar double oxides with solution of the bioactive molecule of interest; their evaluation in the separation of the biological molecule of interest was quantified by UV-vis spectroscopy. The characterization of the materials was performed by X-ray diffraction and IR spectroscopy. The X-ray diffraction patterns showed a c-parameter, interlaminar size of 10.85 Å. By means of Fourier transform IR spectroscopy, the presence of absorption bands corresponding to the function groups were analyzed: OH-, CO_3^{2-} , NO_3^- , Al-OH, Mg-OH and Fe-OH and H_2O present, the process is a physisorption, i.e. there is no chemical interaction where the adsorbate molecules adhere to the adsorbent surface carrying out the formation of chemical bonds would have presence in the FTIR spectrum.

Keywords: materials; properties; drugs; synthetic hydrotalcites.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo y los hábitos de consumo actuales han dado lugar a la generación de una serie de contaminantes que hasta hace unos años pasaban desapercibidos y para los cuales no se disponía de datos sobre su presencia y sus efectos sobre el medio ambiente.

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos de los cuales se sabe relativamente poco o nada acerca de su presencia e impacto en los distintos compartimentos ambientales que de acuerdo con (Deblonde y col., 2011). "Son productos o sustancias químicas nuevas sin estatus regulatorio y cuyos efectos sobre el medio ambiente y la salud humana se desconocen". Además, la disponibilidad de métodos para su análisis es limitada y costosa. Entre los distintos contaminantes emergentes que nos podemos encontrar en las aguas residuales podemos considerar con respecto a lo dicho por Petrovic y col. (2003):

- Retardantes de llama bromados
- Cloroalcanos
- Pesticidas y plaguicidas
- Compuestos perfluorados
- Sufractantes, también llamados tensoactivos
- Productos de tratamientos de aguas
- Aditivos industriales y subproductos
- Aditivos alimentarios
- Productos de higiene personal
- Nanopartículas

La principal vía de entrada de los contaminantes emergentes en el ciclo del agua es a través de las plantas de tratamiento de aguas residuales según López-Pacheco y col. (2019), ya que estas no suelen ser diseñadas para el tratamiento de contaminantes emergentes lo que facilita su dispersión en el medio acuático, como señala la Agencia Europea del Medio Ambiente (2019), compuestos como lo son los fármacos tienen



persistencia química y baja biodegradabilidad, por lo que continuarán en el ciclo del agua, representando una amenaza para los sistemas acuáticos y, potencialmente, la salud humana (Agencia Europea del Medio Ambiente, 2019). Alrededor del mundo, los productos farmacéuticos son utilizados en el área doméstica, hospitalaria, industrial y agrícola de manera generalizada fomentando el ingreso de estas sustancias dentro del ciclo del agua, provocando un impacto en el medio ambiente y su posible incidencia sobre la salud de las personas (López-Pacheco y col., 2019). Una diferenciación clave con otros contaminantes es que su impacto negativo no depende necesariamente de su persistencia en el ambiente, su degradación puede verse sustituida por su integración continuada en el ambiente, ya que son productos comúnmente usados por la población en general.

En cuanto a los posibles efectos sobre la salud y el medio ambiente podemos considerar efectos potencialmente acumulativos de los fármacos a medio o largo plazo alrededor del mundo (Figura 1), pudiendo ocasionar cambios en el medio ambiente o daños en la salud de las personas y proliferación de microorganismos resistentes a los antibióticos.

Las fluoroquinolonas, o quinolonas, son antibióticos sintéticos que inhiben las girasas del ADN (Gellert y col., 1976; Spencer & Panda, 2023). Entre los más prescritos se encuentran el ácido nalidíxico, ciprofloxacino, norfloxacino, ofloxacino, levofloxacino y moxifloxacino. Tienen la capacidad de absorberse por vía oral y se distribuyen ampliamente en todos los tejidos (Macias, 2018).

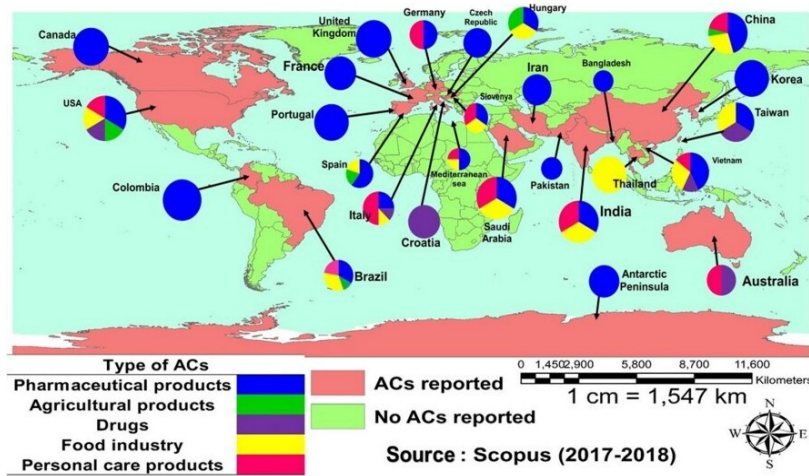


Figura 1. Concentración de contaminantes emergentes en aguas residuales pre y post-tratamiento. Nota. Adaptado de López-Pacheco y col. (2019).

Las quinolonas de primera generación, como el ácido nalidíxico y el ácido pipemídico, han visto reducido su uso en la práctica clínica actual. Su espectro antimicrobiano se limita principalmente a enterobacterias y otros bacilos gramnegativos, mientras que muestran una eficacia mínima o nula contra bacterias grampositivas, patógenos atípicos y microorganismos anaerobios. Desde el punto de vista farmacocinético, estos agentes presentan una baja biodisponibilidad sistémica y concentraciones séricas limitadas, lo que restringe su aplicación terapéutica principalmente al manejo de infecciones urinarias no complicadas. La evolución de esta clase farmacológica llegó con la introducción de un átomo de flúor en la posición 6 de su estructura química, modificaciones que dieron origen a las fluoroquinolonas. En esta categoría mejorada, el norfloxacino como representante de la segunda generación demostró una potenciación significativa de su actividad antibacteriana, particularmente frente a microorganismos gramnegativos (Alos, 2009; Naber y Adam, 1998).

Carrillo-Alduenda y col. (2018) destacan que, a pesar del incremento en los padecimientos crónico-degenerativos, las enfermedades infecciosas siguen siendo una causa relevante de morbilidad y mortalidad a nivel global. Según los autores, la Organización Mundial de la Salud (OMS)



estima que estas enfermedades representan el 25% de la mortalidad general en todo el mundo, con una incidencia aún mayor en países en vías de desarrollo. Este contexto ha llevado a un uso cada vez más frecuente (y en ocasiones indiscriminado) de antibióticos, particularmente las fluoroquinolonas (Carrillo-Alduenda y col.,2018).

El desarrollo de las quinolonas comenzó en 1962, cuando se realizó el descubrimiento accidental del ácido nalidíxico como subproducto de la síntesis de la cloroquina, compuesto utilizado para el tratamiento del paludismo. Las quinolonas están conformadas por una estructura básica de dos anillos, un nitrógeno en la posición 1, un grupo carboxilo en la posición 3 y un grupo carbonilo en la posición 4 (Figura 2) (Domagala y col., 1986). El ácido nalidíxico fue la primera quinolona que se utilizó como agente antimicrobiano al resultar efectivo principalmente contra bacterias gramnegativas causantes de infección urinaria, la cual dio lugar a la formación de diferentes 544 especies de esta molécula (Jackson y col., 1998).

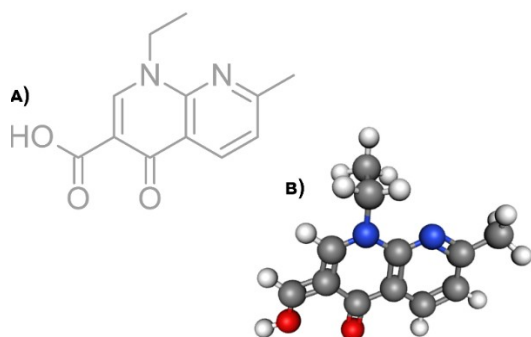


Figura 2. A) Estructura química de Quinolonas; B) Estructura química de ácido nalidíxico (C₁₂H₁₂N₂O₃)

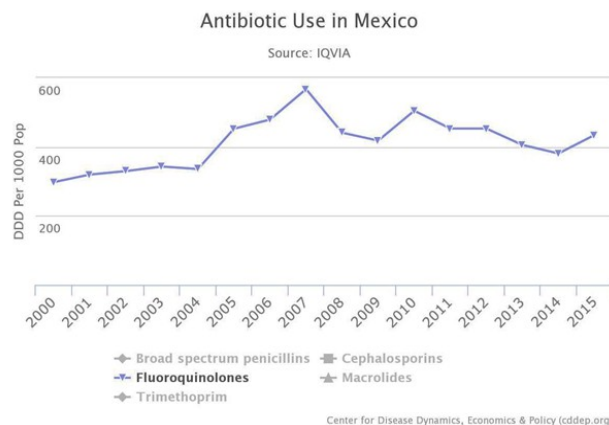
Según la Red Europea de Vigilancia de Resistencia Antimicrobiana (EARS-Net), en 2022 se registró una resistencia del 32% a ciprofloxacino (fluoroquinolona) en aislamientos invasivos de *E. coli* en España (European Centre for Disease Prevention and Control, 2023). Por ello, estas moléculas no están recomendadas como tratamiento empírico en bacterias donde este patógeno sea sospechoso. Adicionalmente, para contener la propagación de resistencia, se sugiere evitar el uso de

quinolonas en cepas ya resistentes al ácido nalidíxico (primera mutación), ya que esto favorece la selección de mutaciones adicionales que conferirían resistencia total a esta clase de antibióticos (Baquero,1990).

Durante su auge, las quinolonas se consideraron antibióticos seguros (Wolfson & Hooper, 1989), alcanzando gran popularidad durante los años noventa. No obstante, con el paso del tiempo y la acumulación de evidencia clínica posterior a la comercialización, se identificaron riesgos significativos asociados a su uso: lesiones repentinas en tendones (como el de Aquiles, hombro o mano), daños en nervios periféricos, degradación muscular severa, reacciones cutáneas graves, alteraciones psiquiátricas y descensos peligrosos de glucosa en sangre. Debido a estos efectos adversos, en 2018 la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) recomendó restringir su prescripción como opción terapéutica inicial, reservándose para casos sin alternativas más seguras (Food and Drug Administration, 2018; Macías, 2018).

En la Figura 3, se presentan datos del portal OneHealthtrust, en donde se muestra que hasta el primer lustro de la década pasada el consumo de antibióticos Fluoroquinolones representaba un valor por encima de las 400 dosis diarias por cada 1000 individuos, detectados en sistemas acuáticos.

Figura 3. Administración de fluoroquinolones en México del 2000 al 2015. Adaptado de (OneHealthTrust, 2025):<https://resistancemap.onehealthtrust.org/AntibioticResistance.php>



Se muestra el consumo de Fluoroquinolonas por la población mexicana, a partir del 2004, el consumo rebasó las 400 dosis diarias por cada 1000 pacientes, es decir, en un 40 % de los casos de infecciones bacterianas, durante los siguientes 10 años.

Es necesario tomar en cuenta que la exposición continua a presiones selectivas como lo son los antibióticos de amplio espectro (p. ej., uso de Fluoroquinolonas) induce en las bacterias el desarrollo de mecanismos de resistencia multifactoriales. En la actualidad, la resistencia a las quinolonas se considera alta, estando en aumento en todo el mundo para técnicamente todas las especies a las que eran efectivas durante su auge (*Kems y col., 2014*). El uso descontrolado y desinformado de estos antimicrobianos ha generado la aparición de bacterias resistentes a estos agentes. Hasta la fecha, los principales mecanismos implicados en esta resistencia bacteriana han sido las alteraciones en las dianas de las quinolonas, lo que provoca un efecto de impermeabilización de la membrana.

El Índice de farmacorresistencia (IRM) es una técnica de cuantificación de resistencia a antibióticos por parte de una población aplicada a infecciones comunes, subraya la necesidad de desarrollar fármacos contra patógenos emergentes. El (IRM), como medida compuesta compara la capacidad de los antibióticos para tratar infecciones con el alcance de su uso en la práctica clínica. Descrito en una cobertura periodística por la revista Science como el Dow Jones de la farmacorresistencia (*Kupferschmidt, 2013*), el IRM proporciona una medida agregada de la tendencia de la eficacia de los fármacos disponibles, similar al modo en que se utilizan los índices económicos compuestos para seguir la evolución de los precios al consumidor y los valores bursátiles. En una comparativa anteponiendo a México con sus vecinos de América del Norte (Estados Unidos y Canadá), ambos países clasificados del primer mundo, con sistemas de salud desarrollados y una estricta regulación en la prescripción de antibióticos, la nación Mexicana, clasificada entre los países en vías de desarrollo cuenta con los índices de resistencia a Fluoroquinolonas más elevados (Figura 4),

probablemente esto se deba a factores como la mala praxis médica, automedicación, y contaminación cruzada en efluentes de agua, ya que los microorganismos se exponen constantemente a agentes antibióticos y estos a su vez generan un estrés que les obliga a mutar para adaptarse.

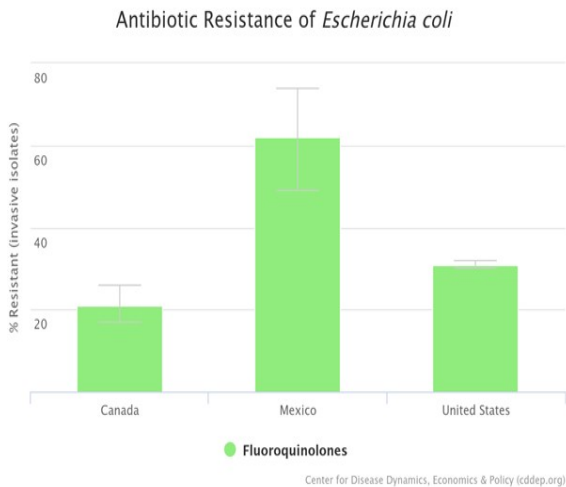


Figura 4. Resistencia de *E. coli* a Fluoroquinolonas en México, Estados Unidos y Canadá al 2015. Fuente: (OneHealthTrust, 2025). [https://resistancemap.onehealthtrust.org/AntibioticResistance.php#:~:text=Cuadro,-%3F%20Ayuda,-%25%20Resistant%20\(invasive%20isolates](https://resistancemap.onehealthtrust.org/AntibioticResistance.php#:~:text=Cuadro,-%3F%20Ayuda,-%25%20Resistant%20(invasive%20isolates)

De acuerdo a los datos recabados por *One Health Trust*, México tiene los mayores índices de resistencia presentando un 62% de obsolescencia al menos con esta bacteria y este antibiótico en comparación con sus vecinos del norte, de acuerdo con datos de Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (2023) México tiene un atraso en infraestructura sanitaria de 10 a 15 años en comparación con Canadá.

Estudios comparativos realizados sobre la eficiencia de los sistemas de salud en América Latina (Sánchez-Belmont, 2020; Moreno-Sierra y col., 2019) tomando los indicadores de esperanza de vida al nacer y a los 60 años, mortalidad infantil, años de vida perdidos ajustado por discapacidad, parto atendido por personal calificado, inmunización, tasa de partos atendido por personal calificado) los valores representados muestran la eficiencia del gasto de salud por país, en una escala de 0 a 1 (Tabla 1), 1 representa nivel de eficiencia máximo en el gasto que

corresponde, valores inferiores muestran la diferencia entre deficiencia actual y deficiencia posible, lo que es un indicativo de la eficiencia del sistema de salud mexicano (0.938) en el estudio realizado; y algunos países dentro de la comparativa anterior.

Tabla 1. Índice de eficiencia de los sistemas de salud en América Latina, 2018

País	Eficiencia promedio en todos los modelos
México	0.938
Venezuela	0.935
Argentina	0.945
Ecuador	0.916

La Figura 5 representa un informe sobre la resistencia de una gran negativa, *Escherichia coli* (*E. coli*), utilizando cuatro familias de antibióticos: fluoro-quinolonas, aminopenicilinas, amoxicilina-clavulánico y aminoglucósidos. Factores como un deficiente sistema de salud, falta de capacitación, desinformación e índices altos de pobreza fomentan la automedicación, que a su vez promueve la aparición de cepas multirresistentes. En México, las fluoroquinolonas tienen un índice de resistencia alto respecto a antibióticos aminoglucósidos; amoxicilina/ácido clavulánico, contemporáneo de las quinolonas, guarda un índice de resistencia cercano, las aminopenicilinas, comercializadas desde la década de 1960, tienen un rango de efectividad prácticamente nulo, producto del abuso por parte del consumidor.

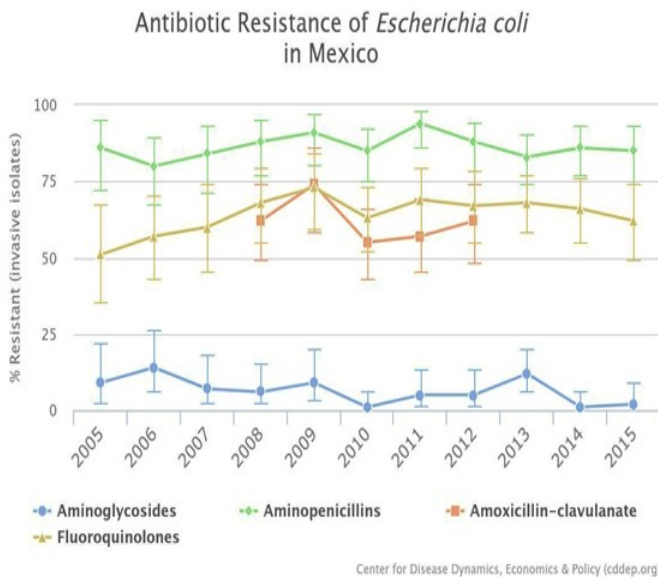


Figura 5. Resistencia a distintas familias de antibióticos por parte de *Escherichia coli* en México. *E. coli* tiene una resistencia de más de 75% a las aminopenicilinas, mientras, las amoxicilina-clavulánico y las fluoroquinolonas, en el rango del 50 al 75 %, las aminoglucósidos presentan menos del 25%. Fuente: (OneHealthTrust, 2025) <https://resistancemap.one-healthtrust.org/AntibioticResistance.php>

Se estima que hasta un 70 % de las quinolonas son excretadas sin cambios conservando principalmente su forma activa (Vigilancia Europea del Consumo de Antimicrobianos, 2010; Zhang y col., 2014), terminando en plantas de tratamientos de aguas residuales donde solo son degradados parcialmente (Cuerda-Correa y col., 2019; Sturini y col., 2012), aunado a esto, al ser antibióticos de amplio espectro tienen un auge en el sector hospitalario, doméstico y pecuario (Adriaenssens y col., 2011; Grave y col., 2012; Van Doorslaer y col., 2014), lo que promueve la contaminación al medio ambiente y a su vez, a mantos acuíferos por escorrentías. A diferencia de otros fármacos como las β -lactámicos y las Tetraciclinas, las fluoroquinolonas tienen una estructura molecular única, que les vuelve resistentes a procesos de degradación tales como hidrólisis, la fotólisis y la acción de enzimas microbianas (Domagala y col., 1986; Van Doorslaer y col., 2020), promoviendo riesgos de contaminación cruzada con microorganismos no objetivo, provocando en estos un estrés de adaptación y la selección generacional de organismos resistentes. Si bien, esta crisis sanitaria que de acuerdo el Grupo de Coordinación Interorganismos sobre Resistencia a los

DESCIFRANDO LA INCERTIDUMBRE: UN VIAJE A TRAVÉS DE LA ENTROPÍA DE SHANNON, LA MECÁNICA LAGRANGIANA Y LA CONFIABILIDAD

DECODING UNCERTAINTY: A JOURNEY THROUGH SHANNON ENTROPY, LAGRANGIAN MECHANICS AND RELIABILITY

OCTAVIO PÉREZ GÓMEZ GAONA¹

LUISA ALEJANDRA RAMÍREZ
DELGADO¹

DAVID SALVADOR GONZÁLEZ
GONZÁLEZ²

RESUMEN

La teoría de la información de Claude E. Shannon, formulada en la década de 1940, es clave para cuantificar la incertidumbre en diversos sistemas, incluyendo comunicación, inteligencia artificial, estadística e ingeniería de confiabilidad. La entropía de Shannon mide la información en un mensaje y optimiza su transmisión, minimizando el ruido. Este artículo explora la relación entre la entropía, la mecánica lagrangiana y la confiabilidad de sistemas. Se plantea que el principio de mínima acción, base de la mecánica lagrangiana, también se aplica en la optimización de la transmisión de información y la predicción de fallas en sistemas industriales. La incertidumbre se interpreta como un factor central en la dinámica de sistemas físicos y de información, estableciendo un marco matemático basado en restricciones probabilísticas y principios variacionales. Finalmente, se destaca la conexión entre la ecuación de Euler-Lagrange y la evolución de la incertidumbre en sistemas de información y confiabilidad. Esta perspectiva describe la dinámica de la incertidumbre y su impacto en la gestión del riesgo y la optimización, ampliando la aplicabilidad de la teoría de la información en la toma de decisiones en ciencia e ingeniería, particularmente en confiabilidad.

Palabras clave: entropía de Shannon; mecánica lagrangiana; teoría de la

1. Centro de Estudios e Investigaciones Interdisciplinarias, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Facultad de Sistemas, Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
ocperezgomezg@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0003-1341-0589>



CienciAcierta

información; confiabilidad de sistemas; optimización variacional.

Fecha de recepción
24 de marzo de 2025.

Fecha de aceptación
19 de mayo de 2025.

ABSTRACT

The information theory of Claude E. Shannon, formulated in the 1940s, is key to quantifying uncertainty in various systems, including communication, artificial intelligence, statistics, and reliability engineering. Shannon entropy measures the information in a message and optimizes its transmission by minimizing noise. This article explores the relationship between entropy, Lagrangian mechanics, and system reliability. It is proposed that the principle of least action, the foundation of Lagrangian mechanics, also applies to optimizing information transmission and predicting failures in industrial systems. Uncertainty is interpreted as a central factor in the dynamics of physical and informational systems, establishing a mathematical framework based on probabilistic constraints and variational principles. Finally, the connection between the Euler-Lagrange equation and uncertainty evolution in information and reliability systems is highlighted. This perspective describes the dynamics of uncertainty and its impact on risk management and optimization, expanding the applicability of information theory in decision-making in science and engineering, particularly in reliability.

Keywords: *Shannon entropy; lagrangian mechanics; information theory; system reliability; variational optimization.*

INTRODUCCIÓN

En nuestra vida cotidiana, la incertidumbre se manifiesta de diversas formas: en la transmisión de mensajes, la confiabilidad de sistemas

mecánicos o la evolución de sistemas físicos bajo restricciones. La teoría de la información, formulada por Claude Shannon (Shannon1948) en los años 40, ofrece una herramienta matemática para cuantificar la incertidumbre mediante la entropía. Aunque concebida en telecomunicaciones, su aplicación se extiende a biología, ingeniería, medicina y ciencias sociales. Sin embargo, su relación con la mecánica lagrangiana y el cálculo variacional es menos evidente. Imaginemos que la confiabilidad de un sistema mecánico/industrial —como una turbina o un vehículo— no solo depende del desgaste físico, sino de una dinámica matemática oculta. ¿Podría la probabilidad de falla modelarse no solo como una función empírica, sino como una estructura emergente derivada de principios variacionales? Aquí surge la conexión: la entropía de Shannon, la mecánica lagrangiana y el mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) pueden integrarse en un mismo marco teórico. Aunque parecen disciplinas independientes, examinadas desde una perspectiva informacional, revelan una estructura unificadora. La mecánica lagrangiana, basada en el principio de mínima acción, describe la evolución de sistemas físicos mediante trayectorias óptimas. El mantenimiento centrado en confiabilidad optimiza la gestión del ciclo de vida de sistemas industriales, anticipando fallas. La teoría de la información permite cuantificar la incertidumbre y su impacto en la confiabilidad. Este artículo explora cómo la entropía de Shannon actúa como un puente matemático entre la confiabilidad y la mecánica variacional, revelando que, en la intersección de estas disciplinas, la teoría de la información siempre ha estado presente, esperando ser descubierta.

CUANTIFICACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE: DEFINICIÓN DE INCERTIDUMBRE Y SU RELACIÓN CON LA INFORMACIÓN

La incertidumbre surge cuando los datos disponibles son incompletos o insuficientes para predecir con certeza un evento, según Shannon (1948),

López Pérez (1998) y Suárez Álvarez (2011). En el ámbito de la comunicación, esta ausencia de información genera desafíos en la transmisión y recepción de mensajes, lo que lleva al desarrollo de métodos matemáticos para cuantificarla y optimizar su gestión. Esta incertidumbre define estructuras matemáticas complejas en términos de codificación, pero simples en su interpretación. Claude E. Shannon formalizó la entropía como una medida cuantitativa de la incertidumbre asociada a la transmisión de información. En este contexto, la cantidad de información contenida en un mensaje es un valor matemático bien definido y medible. La información no se refiere al volumen de datos transmitidos, sino a la probabilidad de que un mensaje específico, dentro de un conjunto de mensajes posibles, sea recibido. En este sentido, un mensaje con menor probabilidad de ocurrencia contiene más información, mientras que un mensaje cuya recepción sea completamente predecible no aporta información nueva y, por tanto, su entropía es cero.

LA INCERTIDUMBRE COMO CARACTERÍSTICA INHERENTE A LOS SISTEMAS DE TRANSMISIÓN DE INFORMACIÓN Y OTROS FENÓMENOS NATURALES

El modelo propuesto por Shannon describe la comunicación como un proceso en el que una fuente de información emite un mensaje, que es transformado en una señal por un transmisor y enviado a través de un canal. En este proceso, el ruido, como ocurre en una llamada telefónica con mala recepción o en una transmisión digital con interferencias, puede afectar la transmisión, comprometiendo la correcta interpretación del mensaje por parte del receptor. La teoría de la información busca optimizar la codificación y decodificación para minimizar los efectos del ruido y garantizar una transmisión eficiente.

La incertidumbre no solo es relevante en la comunicación, sino que también desempeña un papel crucial en múltiples disciplinas. En inteligencia artificial, la incertidumbre surge cuando los modelos predictivos operan con datos incompletos o ambiguos, requiriendo algoritmos avanzados para estimar probabilidades y tomar decisiones



óptimas. Según Aladro Vico (2011), en estadística, la incertidumbre es inherente a cualquier análisis basado en muestreos y predicciones, donde la falta de datos suficientes o la variabilidad de los mismos afectan la confianza en los resultados. Por otro lado, Le Thi (2016) señala que, en la transmisión de señales, la incertidumbre se presenta cuando la calidad de la señal se degrada debido al ruido, obligando a implementar técnicas de corrección de errores y redundancia para asegurar la fidelidad del mensaje. Estos ejemplos reflejan cómo la incertidumbre no solo es un concepto teórico, sino un desafío práctico que requiere estrategias especializadas en cada campo para su manejo y minimización, como lo señalan Shannon (1948) y Capurro (2007).

LA ENTROPÍA COMO MEDIDA DE INCERTIDUMBRE

La entropía, definida por Shannon, cuantifica la incertidumbre en un sistema de transmisión de información. En un canal de comunicación, la entropía mide la cantidad media de información por byte transmitido. Si un byte tiene una alta probabilidad de ser transmitido, su contribución a la entropía es baja; en cambio, si un byte tiene una baja probabilidad, aporta más información en términos de incertidumbre y aumenta la entropía del sistema. Los bytes, en este sentido, se interpretan como unidades fundamentales de información, pero lo que define su aportación a un mensaje en este contexto es la probabilidad de que tal byte de información sea transmitido o no. En realidad, si lo pensamos, toda la tecnología moderna depende de probabilidades de que la información se consiga o no transmitir.

Es asombroso comprobar que se dispone de una cantidad específica para contabilizar la incertidumbre y transformarla en probabilidades que nos indican con qué frecuencia, al pasar el tiempo, logramos transmitir porciones bien definidas de un mensaje. ¡Tal cantidad es la entropía!

Este concepto es clave para optimizar los esquemas de codificación y almacenamiento de datos, asegurando que la cantidad de bits utilizada refleje de manera eficiente la cantidad de información transmitida. Además, la entropía se extiende a sistemas físicos y estadísticos, donde se usa para describir la dispersión de estados en un sistema dinámico.

Un detalle interesante: la entropía no se modifica si elegimos bytes, bits, ladrillos, gorditas de picadillo o símbolos ancestrales para codificar la información. Lo que importa es cuantificar la incertidumbre.

PRESENTACIÓN DEL CONCEPTO DE ENTROPÍA DE SHANNON

La entropía de Shannon se puede entender como una medida del grado de incertidumbre asociado a una fuente de información. Cuanto más impredecibles sean los datos generados por una fuente, mayor será su entropía. En términos prácticos, esto significa que una secuencia de datos altamente aleatoria tiene mayor entropía que una secuencia con patrones repetitivos. En el trabajo de Capurro (2007) puede verse desde una perspectiva práctica, que la entropía de Shannon permite diseñar códigos de transmisión eficientes, tales como el sistema binario, y fundamenta el límite de compresión sin pérdidas de datos. La interpretación coloquial de que la entropía es una medida del desorden de un sistema es, en el mejor de los casos, una mala interpretación de la entropía en el contexto de la termodinámica. En general, es preferible entenderla como ausencia de información o, mejor dicho, incertidumbre, tal como se indica en el trabajo seminal de (Shannon, 1948). En la teoría de la información, la clave es comprender qué porción de la información desconocemos y, como consecuencia, cuánta incertidumbre opera en el sistema que estemos trabajando.



NEXO CON LA TEORÍA ERGÓDICA Y APLICACIONES EN SISTEMAS COMPLEJOS

La teoría de la información se vincula con la teoría ergódica, que analiza el comportamiento estadístico de sistemas dinámicos en el tiempo. Según la hipótesis de ergodicidad, todos los microestados accesibles son igualmente probables a largo plazo, lo que permite interpretar cada fragmento de un mensaje como una unidad de incertidumbre optimizada. Así, una transmisión eficiente busca distribuir esta incertidumbre de forma uniforme a lo largo del mensaje.

Este paralelismo destaca que la incertidumbre no solo es estadística, sino también una base estructural en la organización de la información. Conceptos fundamentales de la teoría ergódica incluyen:

- Sistema ergódico: Un sistema en el que la probabilidad de estar en un estado coincide con el tiempo promedio pasado en dicho estado.
- Proceso ergódico: Un proceso estocástico en el cual una función muestral contiene todas las características estadísticas del proceso.
- Teoremas ergódicos: Propuestos por John von Neumann y George Birkhoff, establecen las condiciones bajo las cuales los promedios temporales coinciden con los promedios de conjunto.

La hipótesis de ergodicidad resulta clave en el estudio de sistemas complejos donde la información depende de múltiples parámetros. Sus aplicaciones incluyen redes neuronales, navegación autónoma y análisis estructural de redes informacionales, como muestra Mena Díaz (2012) desde la teoría de grafos. En este contexto, la ergodicidad no solo describe sistemas dinámicos, sino que también condiciona cómo la entropía evoluciona en el tiempo. La aleatoriedad y variabilidad temporal influyen directamente en la medición de la incertidumbre y en las estrategias de transmisión y almacenamiento de información. En



sistemas complejos, esta relación puede ser decisiva para entender la eficiencia del procesamiento de datos.

CONEXIÓN LAGRANGIAN: MECÁNICA LAGRANGIANA Y EL PRINCIPIO DE MÍNIMA ACCIÓN

La mecánica lagrangiana es una herramienta teórica que describe la evolución de los sistemas físicos basándose en un principio de optimización. Según este principio, un sistema natural siempre sigue la trayectoria que optimiza su comportamiento bajo ciertas restricciones. En física, como indica Ballén Méndez (2023), se asume que tal optimización conduce a un mínimo, un punto donde existe estabilidad en la función lagrangiana que se estudia. Este enfoque se ha utilizado ampliamente para describir desde el movimiento de partículas en campos de fuerza hasta fenómenos más complejos en la física moderna. Desde el problema de la braquistócrona, planteado por los hermanos Bernoulli a Newton, hasta la formulación moderna de la mecánica cuántica de campos, la mecánica lagrangiana juega un papel fundamental en el desarrollo de algoritmos de optimización en distintas disciplinas en opinión de (Susskind, 1997).

OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIAS Y DINÁMICA DE SISTEMAS

El principio de mínima acción permite describir la evolución de sistemas físicos y su comportamiento bajo restricciones. Se interpreta como un mecanismo de optimización donde la trayectoria seleccionada minimiza o estabiliza una cantidad determinada, el lagrangiano. En términos generales, el lagrangiano alcanza valores mínimos para ciertas trayectorias, mientras que otras, con características geométricas distintas, no cumplen esta condición. Existen formulaciones que

demuestran que las trayectorias cerradas siempre corresponden a mínimos dentro de este contexto. Este análisis es esencial para el estudio de sistemas con múltiples variables y condiciones, ya que reformula problemas dinámicos como la búsqueda de soluciones óptimas dentro de un conjunto de posibilidades. Ahora bien, ¿a qué se hace referencia con problemas dinámicos? En trabajo de Hawking (2005) se aborda esta cuestión desde el planteamiento de sistemas cuya evolución depende explícitamente del tiempo, es decir, aquellos en los que el estado actual determina directamente el futuro y requieren una formulación adecuada para su descripción.

PRIMERAS VINCULACIONES CON LA TEORÍA DE LA INFORMACIÓN

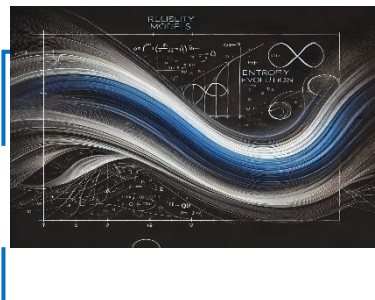
La relación entre la mecánica lagrangiana y la teoría de la información se basa en la conexión entre el principio de mínima acción y la incertidumbre en sistemas físicos. La incertidumbre, entendida como la falta de conocimiento sobre el estado futuro de un sistema, puede medirse mediante la entropía. En este sentido, la evolución óptima de un sistema puede interpretarse como aquella que maximiza la incertidumbre sobre su trayectoria. Este principio tiene aplicaciones en distintos campos, por ejemplo, Cárdenas (2022) señala condiciones bajo las cuales la mecánica cuántica y la confiabilidad en sistemas industriales se emplea para predecir y prevenir fallas.

DE LA INCERTIDUMBRE A LA CONFIABILIDAD: MODELOS PROBABILÍSTICOS EN CONFIABILIDAD

La confiabilidad de un sistema se modela generalmente a través de enfoques probabilísticos que permiten predecir su desempeño y vida útil. Las funciones de confiabilidad, como las distribuciones exponenciales y de Weibull, permiten estimar la probabilidad de falla en función del tiempo. Estos modelos se aplican en ingeniería y mantenimiento para optimizar estrategias de gestión de activos y minimizar el riesgo de fallas inesperadas. En este sentido, (Luna, 2005) plantea que la confiabilidad se puede entender como el cambio de la calidad a través del tiempo. Cuando se cambia el aceite y el filtro de aceite de un vehículo, el circuito de lubricación del motor alcanza su máximo nivel de calidad. Conforme el tiempo avanza, la calidad del aceite y la capacidad filtradora del filtro disminuyen progresivamente. Esta degradación del sistema de lubricación induce riesgos que aumentan con el tiempo; la calidad va decayendo, el riesgo de fallas asociadas al circuito de aceite aumenta y, en general, la confiabilidad de este vital sistema automotor se compromete conforme el tiempo transcurre.

USO DE LA INFORMACIÓN PARA ANTICIPAR FALLAS

La cuantificación de la incertidumbre mediante la entropía de Shannon permite mejorar la predicción y gestión del riesgo en sistemas complejos. En el mantenimiento predictivo, la información extraída de sensores y registros históricos permite anticipar fallas antes de que ocurran, optimizando la toma de decisiones y reduciendo costos

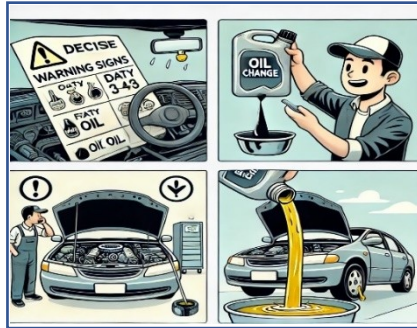


operativos.

Sin embargo, paradójicamente, el momento en el que mejor funciona el enfoque entrópico es cuando no existe

información disponible. Allí donde no haya registros de fallas, recambios de componentes o frecuencia de mantenimiento, la entropía alcanza un máximo, pues la incertidumbre es casi total. Es en este punto donde puede intervenir la teoría de la información para modelar las posibles fallas, incluso cuando la información es muy reducida.

Figura 2. El cambio de aceite como un ejemplo de sistemas reemplazables.



ANALOGÍA ENTRE LA INCERTIDUMBRE EN INFORMACIÓN Y CONFIABILIDAD

Existe una relación conceptual entre la incertidumbre en teoría de la información y la confiabilidad de un sistema. La entropía mide el nivel de incertidumbre sobre el estado futuro de un sistema, y esta incertidumbre está directamente relacionada con su confiabilidad. Un sistema con alta entropía posee un comportamiento impredecible, lo que dificulta su mantenimiento y predicción. Por el contrario, reducir la incertidumbre permite mejorar la planificación y gestión de riesgos en sistemas industriales. Es aquí donde se involucra la mecánica lagrangiana y el cálculo variacional. El cálculo variacional es el lenguaje natural de la mecánica lagrangiana. En esencia, en ese máximo de incertidumbre se pueden imponer restricciones de tipo probabilístico basadas en los axiomas de Kolmogórov, como citan en su trabajo Shannon (1948) y Hawking (2005), en general, los axiomas de Kolmogórov se pueden entender como sigue:

- La probabilidad no puede ser mayor que 1.

- La probabilidad no puede ser menor que 0.
- La probabilidad es sumable y acumulativa a través del tiempo.

Estos tres axiomas, escritos en una formulación lagrangiana que incluye la entropía, no generan una única densidad de probabilidad de falla, sino un conjunto de funciones de densidad de probabilidad de falla que se ajustan progresivamente al comportamiento de la confiabilidad conforme evoluciona el sistema de interés. Es como si no recordáramos cuándo hicimos el cambio de aceite, pero por experiencia sabemos que cuando al encender nuestro coche por las mañanas este emite ciertos sonidos peculiares, estamos incurriendo en un riesgo de fallas. Decidimos entonces darle servicio: la incertidumbre es la misma, pero la experiencia pasada y el temor a una falla prematura nos permiten tomar una decisión más o menos racional con respecto al mantenimiento del vehículo.

$$\begin{aligned}
 P(S) &\geq 0, \quad \forall S \in \mathcal{A} \\
 P(\Omega) &= 1 \\
 P\left(\bigcup_{n=1}^{\infty} S_n\right) &= \sum_{n=1}^{\infty} P(S_n)
 \end{aligned}$$

Figura 3. Los Axiomas de Kolmogorov.

DESCIFRANDO LA CONEXIÓN LAGRANGIANA: EL PRINCIPIO DE HAMILTON COMO MÉTODO DE OPTIMIZACIÓN

El principio de Hamilton establece que la evolución de un sistema físico es el resultado de un proceso de optimización sujeto a restricciones como señala Bussotti (2024). Este principio se formula a través de un funcional de acción, cuya minimización conduce a las ecuaciones de movimiento del sistema. En términos generales, cualquier sistema físico sigue una trayectoria que optimiza la acción definida como la integral del lagrangiano en el tiempo. Para describir matemáticamente esta idea, tendremos que hacer algo que normalmente no se hace en artículos de



divulgación: ¡escribir matemáticas! No es tan complicado y, en todo caso, como indica (Weaver, 2023), una descripción breve pero sucinta será de utilidad. Comencemos considerando la acción H sobre una función f , cuya variación está dada por: $\delta H = 0$

De esta condición se extrae el lagrangiano L , que es una función que contiene toda la información del sistema dinámico que estamos postulando: $H = \int L dt$. Este enfoque, aplicado más allá de la mecánica clásica, permite modelar procesos en diversos dominios, desde sistemas físicos hasta el análisis de información. En el contexto de la teoría de la información, este marco de optimización se traduce en la búsqueda de configuraciones de máxima entropía bajo restricciones impuestas por la estructura de los datos o sistemas de transmisión.

ENTROPÍA Y MECÁNICA LAGRANGIANA: UNA CONEXIÓN INESPERADA

La entropía de Shannon mide la incertidumbre de un sistema de información y puede ser interpretada como un funcional, es decir, una función de funciones. Si se considera la entropía como una cantidad análoga a una acción, su extremización bajo restricciones de normalización y momentos estadísticos conduce a la formulación de un lagrangiano especial: $L = L_0 + L_R$ donde L_0 es el lagrangiano "libre" que incorpora la contribución de la entropía de Shannon, y L_R es otro lagrangiano que incorpora las restricciones impuestas por los axiomas de Kolmogorov y los momentos probabilísticos, tales como la media, la moda, la mediana, la desviación estándar y la curtosis. Así, $L = L_0 + L_R$ contiene todas las exigencias de la teoría de la información, los axiomas de Kolmogorov y las condiciones analíticas derivadas de la densidad de probabilidad. Estas características son fundamentales para describir la evolución óptima de la incertidumbre en sistemas de información y confiabilidad. Para derivar ecuaciones que gobiernen esta evolución,

recurrimos a las ecuaciones de Euler-Lagrange:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q} = \dot{c}$$

Estas ecuaciones diferenciales determinan la evolución temporal del sistema dinámico modelado por L . En este contexto, las ecuaciones de Euler-Lagrange nos indicarán qué distribuciones de probabilidad son compatibles con las restricciones y la entropía prescritas en el lagrangiano L . De esta manera, se establece un puente matemático entre la teoría de la información, la mecánica lagrangiana y el análisis de confiabilidad, proporcionando una nueva perspectiva sobre la optimización de sistemas dinámicos.

CULMINACIÓN DEL ANÁLISIS: UN MARCO

UNIFICADO

El análisis presentado sugiere un marco unificado donde la entropía, la mecánica lagrangiana y la confiabilidad convergen en un mismo formalismo matemático. La conexión entre estos conceptos se basa en la idea de que la evolución óptima de cualquier sistema puede ser descrita mediante principios variacionales, independientemente de si el sistema es físico, informacional o de confiabilidad. Todo lo que se necesita es contar con un lagrangiano con restricciones adecuadas al problema que tratamos de modelar. Este enfoque tiene implicaciones profundas en diversas áreas. En confiabilidad, permite modelar la evolución del riesgo mediante ecuaciones derivadas del formalismo lagrangiano. En teoría de la información, proporciona una base matemática para entender la optimización de la transmisión y almacenamiento de datos. Finalmente, en mecánica lagrangiana, amplía el horizonte de aplicación hacia sistemas no físicos donde la incertidumbre es un elemento central. Así, la entropía se revela no solo como una medida de incertidumbre, sino

como un principio organizador desde el punto de vista del cálculo variacional que, bajo el enfoque lagrangiano, conecta diversas disciplinas aparentemente dispares. Esta conexión, inesperada a primera vista, ofrece una visión unificadora que amplía nuestra comprensión sobre la optimización y la dinámica de sistemas.

REFERENCIAS

- Aladro Vico, E. (2011). La teoría de la información ante las nuevas tecnologías de la comunicación. *CIC. Cuadernos de Información y Comunicación*, 16: 83–93.
- Ballén Méndez, I. C. (2023). *Un acercamiento termodinámico a las ecuaciones de campo de Einstein* [Tesis de grado, Universidad de los Andes]. Repositorio Uniandes.
- Bussotti, P., Capecchi, D., & Ruta, G. (2024). On the origins of Hamilton's principle(s). *Encyclopedia*, 4: 1454–1471. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia4040094>
- Capurro, R. (2007). Epistemología y ciencia de la información. *Revista de Ciencias de la Información*, 4(1): 1–15.
- Cárdenas, J. H. (2022). *Física estadística: una visión a partir de la entropía y la teoría de la información*. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- Hawking, S. W. (2005). Information loss in black holes. *Physical Review D*, 72: 084013. <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.72.084013>
- Le Thi, M. L. (2016). *Entropía: Una medida de riesgo*. Banco de México.
- López Pérez, R. (1998). Crítica de la teoría de la información: Integración y fragmentación en el estudio de la comunicación. *Cinta Moebio*, 3: 24–30.
- Luna, A. E. (2005). *Teoría de la confiabilidad*. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires.
- Mena Díaz, N. (2012). Redes sociales y gestión de la información: Un enfoque desde la teoría de grafos. *Ciencias de la Información*, 43(1). 29–37.
- Shannon, C. E. (1948). A mathematical theory of communication. *The Bell System Technical*

Journal, 27, 379–423, 623–656.

Suárez Álvarez, E. (2011). *Avances metodológicos en el cálculo de la entropía conformacional y la energía de biomoléculas y su aplicación a modelos de colágeno*. Dialnet.

Susskind, L. (1997). Black holes and the information paradox. *Scientific American*, 276: 52–57.

Weaver, C. G. (2023). *Hamilton, Hamiltonian mechanics, and causation*. *Foundations of Science*. <https://doi.org/10.1007/s10699-023-09967-3>

MEZCLAS DE PVA/ GELATINA Y NANOPARTÍCULAS PROPIEDADES Y APLICACIONES

*PVA/GELATIN AND NANOPARTICLES MIXTURES, PROPERTIES,
AND APPLICATIONS*

LESSLI ANETH GUERRERO DIMAS¹

ADALÍ OLIVA CASTAÑEDA FACIO¹

AIDÉ SÁENZ GALINDO¹

ABRIL FONSECA GARCÍA²

RAMÓN ENRIQUE DÍAZ DE LEÓN
GÓMEZ²

RESUMEN

Debido a la preocupación ambiental se ha aumentado la demanda de polímeros provenientes de fuentes renovables o de biopolímeros para diversos usos. Sin embargo, estos presentan desventajas las cuales son sus propiedades térmicas y mecánicas, por lo que actualmente se están realizando investigaciones sobre biopolímeros realizando modificaciones físicas o químicas mezclando con otros polímeros o incluso se han añadido nanopartículas (NPs) para obtener polímeros reforzados (nanocompuesto) con la intención de mejorar propiedades mecánicas, térmicas, antimicrobianas, propiedades de barrera al vapor de agua/oxígeno que han demostrado mejoras en materiales para diversas aplicaciones. El alcohol polivinílico (PVA) es un polímero ampliamente estudiado por su facilidad para formar películas, hidrofiliidad, buena procesabilidad, buena biocompatibilidad y buenas propiedades químicas y físicas, que al combinarse con otro polímero pueden formar películas muy resistentes. Además, ha demostrado ser un polímero de baja toxicidad y citotoxicidad. En esta revisión se hablará sobre de las propiedades generales del PVA y de la gelatina, de su obtención y formulación, además de sus aplicaciones en particular en las industrias alimentaria y de la salud.

Palabras clave: alcohol polivinílico (PVA); gelatina; propiedades; nanocompuestos.

1. Departamento de Polímeros, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Departamento de Química Macromolecular y Nanomateriales, Centro de Investigación en Química Aplicada.

Correspondencia
lessli_guerrero@uadec.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0002-9251-1574>

ABSTRACT

Due to environmental concerns, the demand for polymers derived from renewable sources, also known as biopolymers, has increased for various applications. However, these have disadvantages which are their thermal and mechanical properties, so research is currently being carried out on biopolymers by making physical or chemical modifications mixing with other polymers or even nanoparticles (NPs) have been added to obtain reinforced polymers (nanocomposite) to improve mechanical, thermal, antimicrobial properties, barrier properties to water vapor/oxygen that have shown improvements in materials for various applications. Polyvinyl alcohol (PVA) is a polymer widely studied for its ease of forming films, hydrophilicity, good processability, biocompatibility, and excellent chemical and physical properties. When combined with another polymer, it can form very resistant films. Additionally, it has been proven to be a polymer of low toxicity and cytotoxicity. This review will discuss the general properties of PVA and gelatin, their production and formulation, as well as their applications in the food and healthcare industries.

Keywords: polyvinyl alcohol (PVA), gelatin, properties, nanocomposites.

1. INTRODUCCIÓN

El PVA es un polímero ampliamente estudiado debido a su biocompatibilidad, buena procesabilidad, hidrofiliidad y sus propiedades químicas y físicas, al igual que su baja toxicidad y citotoxicidad. Sin embargo, aunque presenta propiedades muy interesantes al estar en contacto con soluciones polares por largos periodos de tiempo, tiende a solubilizarse, siendo esto un obstáculo para diversas aplicaciones como en el área biomédicas donde se requiere que el polímero esté en contacto en ambientes fisiológicos.

Por otra parte, la gelatina es un polímero natural que se obtiene a partir

de la degradación de las proteínas del colágeno otorgándole así varios beneficios médicos, buena biodegradabilidad y biocompatibilidad, también presenta buena solubilidad en agua y buena capacidad para formar fuertes enlaces de hidrógeno, pero este polímero cuenta con una baja resistencia mecánica y alta degradabilidad, por lo que se prefiere mezclar con otros materiales para mejorar dichas propiedades.

Es por ello que se ha estudiado la mezcla del PVA con gelatina dando como resultado la formación de una red tridimensional con la finalidad de evitar los inconvenientes de su solubilidad y biocompatibilidad. Debido a que es habitual que al PVA se le añadan nanomateriales para solucionar la problemática de la solubilidad, también se ha investigado la mezcla de PVA /Gelatina/Nanopartículas ya que se ha reportado que, al agregar nanopartículas a una matriz de PVA, se obtendría un material nanocompuesto con propiedades mecánicas, térmicas o antimicrobianas mejoradas.

Este tipo de mezclas han ido ganando actualmente interés en el área farmacéutica y biomédica debido a que se obtienen materiales para aplicaciones en la ingeniería de tejidos, medicina regenerativa, así como para sistemas de administración de fármacos. Otras aplicaciones son en el área textil, en la industria farmacéutica, siendo utilizado como excipiente, como adhesivo y como formador de películas para envases de alimentos. En este artículo se tratará la síntesis, propiedades y aplicaciones de los nanocompuestos a base de PVA /Gelatina.

2. ESTRUCTURA DEL PVA Y GELATINA

2.1 ESTRUCTURA DEL PVA

El alcohol polivinílico (PVA) es considerado un polímero atáctico el cual presenta cristalinidad. Tratándose principalmente de enlaces 1-3 diol [-

$\text{CH}_2\text{-CH(OH)-CH}_2\text{-CH(OH)-}$] y en menor porcentaje 1-2 dioles $[-\text{CH}_2\text{-CH(OH)-CH(OH)-CH}_2]$ todo esto depende de las condiciones que se utilicen para la polimerización del éster vinílico el cual es el precursor (Karmaker y col.,2021), logrando así un polímero lineal con fórmula $[\text{CH}_2\text{-CH(OH)}]_n$ como se observa en la Figura 1.

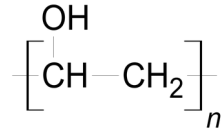


Figura1. Estructura del PVA

El PVA se puede clasificar en dos grupos (a) parcialmente hidrolizado y (b) completamente hidrolizado y los pesos moleculares obtenidos para el PVA pueden variar de 20,000–400,000–dependiendo de la longitud del polímero (Vera y col., 2023).

2.2 ESTRUCTURA DE LA GELATINA

La gelatina es un polímero natural el cual se obtiene a partir de la degradación de las proteínas del colágeno (Alipal y col., 2021). En la Figura 2 se muestra la estructura de la gelatina siendo un compuesto natural, no tóxico y biodegradable, presentando una naturaleza hidrofílica lo cual ayuda a la formación de puentes de hidrogeno fácilmente (Pandia y col., 2021).

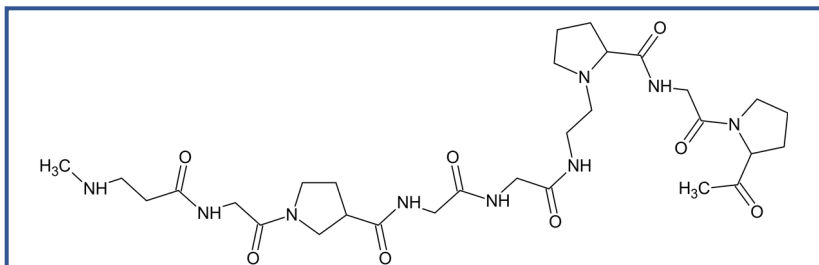


Figura 2. Estructura de la gelatina.

Por otra parte, es necesario considerar que la composición de la gelatina

juega un papel importante en las propiedades ya que esta presenta buenas propiedades biomédicas (Said y col., 2022).

3. OBTENCIÓN DEL PVA Y GELATINA

3.1 OBTENCIÓN DEL PVA

En 1924 Hermann y Haehnel sintetizaron el PVA mediante la saponificación del poliéster de vinilo en una solución de hidróxido de sodio, pero se presentó un problema con esta síntesis ya que el alcohol vinílico es una sustancia química que es muy inestable. El cual se tautomeriza fácilmente en acetaldehído, que es una estructura de resonancia muy estable del alcohol vinílico como se aprecia en la Figura 3. El PVA puede ser sintetizado por polimerización de su monómero estructural (acetato de vinilo) (Aslam y col., 2018, Cederstav y col., 1994).

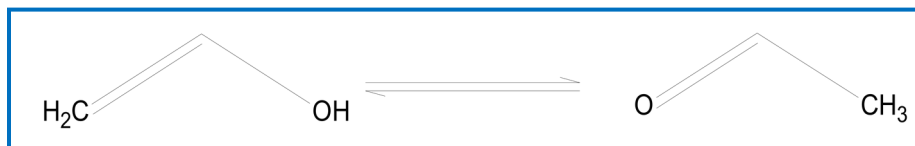


Figura 3. Tautomerización del alcohol vinílico.

Una de estas rutas es la polimerización del acetato de vinilo el cual consta de tres etapas (Zhang y col., 2020, Al-Maadeed, MA., 2022):

- Polimerización del acetato de vinilo
El primer paso en la síntesis del PVA es la polimerización del acetato de vinilo (VA) en un medio acuoso. La síntesis puede realizarse mediante polimerización radicalica, en la cual se emplea un iniciador para dar inicio la reacción que formara el polímero de acetato de polivinilo (PVA).
- Hidrolisis del acetato de polivinilo
Seguido de la hidrolisis con la finalidad de convertir los grupos



acetato en grupos hidroxilo. Esto se puede llevar a cabo en condiciones ácidas o básicas.

La tasa de hidrólisis determina la pureza y las propiedades del PVA resultante

- Purificación

Después de la hidrólisis, el PVA generalmente se purifica mediante centrifugación, filtración o lavado con agua para eliminar los productos no deseados y obtener un polímero limpio.

Otro método de síntesis es la hidrólisis del acetato de vinilo siendo este el más utilizado para su obtención, en el cual, se utiliza acetato de vinilo como monómero y se controla la hidrólisis alcalina parcial del acetato de vinilo. Donde el grupo éster del acetato de vinilo se reemplaza parcialmente con un grupo hidroxilo en un entorno de hidróxido de sodio acuoso, como se demuestra en la Figura 4. La duración de la reacción de saponificación determina el grado de hidrólisis de PVA.

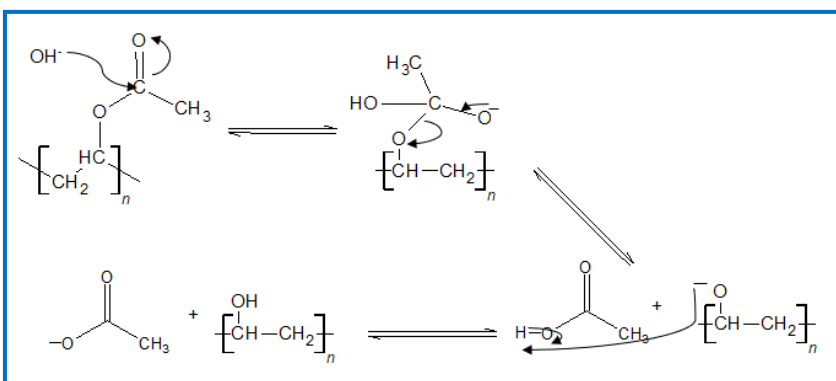


Figura 4. Método de hidrólisis del PVA.

3.2 OBTENCIÓN DE LA GELATINA

La gelatina se obtiene mediante la hidrólisis parcial del colágeno, la cual se realiza mediante el uso de ácidos, bases, enzimas o mediante sus combinaciones donde los enlaces de las cadenas polipeptídicas del colágeno se rompen produciendo gelatina. Es por ello que la calidad y el rendimiento de la gelatina depende de varios factores como son la



fuente de gelatina, método de extracción utilizado y las condiciones durante el proceso de extracción (Noor y col., 2021), algunos de los métodos de extracción más utilizados son:

- Extracción ácida

Los tratamientos ácidos mejoran el grado de hinchamiento del colágeno, lo que presenta una mejor hidrólisis y por ende un mayor porcentaje de rendimiento (Jafari y col., 2020). Sin embargo, el hinchamiento y la solubilización del colágeno se pueden llegar a ver afectados por la concentración y el tipo de ácido utilizado, provocando variaciones en la distribución del peso molecular de la gelatina resultante. Los ácidos utilizados comúnmente son el fosfórico y otros ácidos orgánicos, sin embargo, son costosos y pueden afectar negativamente el olor y el sabor de la gelatina producida. Para su extracción los trozos de colágeno se sumergen primero en una solución de NaOH para eliminar el material no deseado, la mezcla se agita y se remueve continuamente entre 22–28 °C durante 40 min. A continuación, se trata con una solución alcalina tres veces y los componentes indeseables se eliminan durante este tratamiento y el material se ablanda y está listo para la extracción de gelatina (Golpira y col., 2021).

- Extracción asistida por ultrasonido

La ultrasonicación altera las células lo que aumenta la transferencia de masa del contenido celular. Por lo tanto, se obtiene como resultado un mayor rendimiento de extracción de gelatina en comparación a otros métodos o técnicas utilizados. Además, este método ayuda a la escisión de las fibrillas de colágeno, facilitando su hidrólisis. Este método avanzado de extracción aumenta el porcentaje de rendimiento y la gelatina extraída muestra propiedades funcionales mejoradas (Noor y col., 2021).

- Extracción enzimática

Este método genera menos desperdicio y disminuye el tiempo de procesamiento, pero es más costoso que otros métodos de

extracción de gelatina. En el método enzimático de extracción de gelatina, varias enzimas hidrolasas de proteínas convierten el colágeno en gelatina (Tong y Ying., 2013).

4. PROPIEDADES DE PVA Y GELATINA

4.1 PROPIEDADES DEL PVA

El PVA es considerado como un polímero semisintético soluble en agua, siendo incoloro e inodoro, sin embargo, algunas propiedades como solubilidad, grado de polimerización, cristalinidad, etc. dependen del porcentaje de hidrólisis, peso molecular y humedad (Vera y col., 2023).

Es considerado como uno de los polímeros con mayor resistencia a la tracción, flexibilidad, dureza y presenta propiedad de barrera de gases. (Singh y col., 2021).

Este material debido a su semicristalinidad que involucra una estructura amorfa y una fase cristalina es biodegradable, hidrófilo y no tóxico con buena estabilidad térmica y química, además es considerado un excelente formador de película (Liau y col., 2017). Sus propiedades se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Propiedades del PVA

Propiedades	Rango	Referencia
Color	Incoloro	(Karmaker y col.,2021)
Olor	Inodoro	(Karmaker y col.,2021)
Densidad	1.19 -1.31g/cm ³	(Karmaker y col.,2021)
Fusión	230°C	(Karmaker y col.,2021)
Descomposición	+200°C	(Karmaker y col.,2021)



Temperatura de transición vítrea (T_g)	53°C	(Salman y col., 2016)
Índice de refracción	1.47-630nm	(Salman y col., 2016)
Peso molecular	20,000-400,00	(Salman y col., 2016)
Solubilidad	Soluble en agua. Insoluble en alifáticos e hidrocarburos aromáticos, aceites, cetonas y ésteres	(Salman y col., 2016)

4.2 PROPIEDADES DE LA GELATINA

La estructura química de la gelatina consiste en diferentes cadenas polipeptídicas como cadenas simples, dos cadenas reticuladas covalentemente y tres cadenas reticuladas covalentemente cada una con diferente masa molar. Es por ello que los incrementos de calor para la gelatina disolverán la estructura. Sin embargo, si la solución acuosa de gelatina se hierve durante mucho tiempo, las propiedades cambiarán debido a la descomposición y no se reformarán durante el enfriamiento. Además, la viscosidad y la fuerza de gel de la gelatina varían con la distribución de la masa molecular (Alipal y col., 2021), algunas de sus propiedades se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades de la gelatina.

Propiedades	Rango	Referencia
Color	Incoloro	(Rather y col., 2022)
Olor	Inodoro	(Rather y col., 2022)
Densidad	1.3 - 1.4 kg/m ³	(Finch y Jobling, 1977)
Viscosidad	Menos de 4°C	(Alipal y col., 2021)
Fusión	35 a 40 °C	(Alipal y col., 2021)
Descomposición	+40 °C	(Alipal y col., 2021)
Peso molecular	90x10 ³ - 300x10 ³	(Alipal y col., 2021)
Solubilidad	Agua, glicerol y ácido acético, insoluble en solventes orgánicos	(Cuesta y col., 2017)

5. MEZCLAS DE PVA/GELATINA

Actualmente, las mezclas de diferentes materiales son cada vez más comunes debido a la necesidad de obtener materiales con aplicaciones más específicas. Aunque el PVA presenta propiedades biodegradables, desgraciadamente, presenta tasas de biodegradabilidad muy bajas, lo que justifica una razón para ser mezclado con otros materiales (Halima y col., 2016) como es el caso de la gelatina, que es un material translúcido e incoloro utilizado principalmente como ingrediente en la cocina. Su producción resulta principalmente de la hidrólisis del colágeno, que proviene de la piel y los huesos de los animales (Lin y col., 2017) lo que presenta gran variedad de ventajas, como la bioactividad, biocompatibilidad, biodegradabilidad y baja antigenicidad, y por lo tanto se puede aplicar ampliamente en numerosos campos, incluidos los cosméticos, los medicamentos y los alimentos (Sun y col., 2022).

Es por ello que en los últimos años autores como Sun y col. (2022) han estudiado esta mezcla indicando que aun con la adición de la gelatina el PVA sigue manteniendo su estructura semi amorfa, lo que garantiza las excelentes propiedades mecánicas provenientes del PVA, mientras que la temperatura de degradación y el módulo elástico del PVA mejoraron con la adición de gelatina. Consiguientemente, la mezcla de PVA/gelatina presenta potenciales aplicaciones en diversos campos (Sun y col., 2022).

6. PROPIEDADES DE LAS MEZCLAS PVA/GELATINA

Existe una amplia variedad de materiales poliméricos que pueden llegar mezclarse con el fin de mejorar las propiedades que los materiales normalmente no tienen de forma individual. Gracias a ello, se puede

garantizar una mejor relación costo-beneficio como es el caso de la mezcla de PVA /Gelatina.

En la actualidad los investigadores están buscando la forma de desarrollar mezclas de polímeros que puedan llegar a usarse para envasado en la industria alimentaria basados (total o parcialmente) en polímeros con propiedades biodegradables provenientes de recursos renovables, siendo una buena alternativa para reducir el impacto ambiental (Oliveira y col., 2020)

Imtiaz y col. (2019) llevaron a cabo la fabricación de un hidrogel de Gelatina/ PVA utilizando el método de *solven casting* donde se observó una buena hidrofiliidad, además, el hinchamiento se incrementó en comparación con los polímeros individuales indicando biocompatibilidad (Imtiaz y col., 2019).

7. NANOCOMPUESTOS A BASE PVA/GELATINA

Los nanocompuestos a base de polímeros han presentado gran atención en los últimos años debido a la alta demanda de buscar materiales que sean más livianos, más económicos, amigables con el medio ambiente o que tengan mejores propiedades y rendimiento, es por ello que el uso de materiales con tamaños nanométricos mezclados con polímeros biodegradables como el PVA y la gelatina presenta buenas oportunidades para mejorar sus propiedades con una buena relación costo-beneficio (Ejara y col., 2021).

Las nanopartículas han sido uno de los nanomateriales más utilizados para la creación de los nanocompuestos a base de PVA y Gelatina en aplicaciones en el área de la salud y alimentación principalmente, ya que, presentan una gran capacidad antibacteriana. Golará y col. (2022) estudiaron el nanocompuesto de PVA/Gelatina/ZnO mediante electrohilado utilizando concentraciones de 0.5 y 1% de las NPs de ZnO para determinar su actividad antimicrobiana ante las cepas de *E. coli* y *S.*

aureos para crear un material que pueda tener aplicaciones de ingeniería de tejidos cutáneos (Golara y col., 2022).

Amer y col. (2020) propusieron la fabricación de nanocompuestos que presentan impacto en la regeneración y actividad antimicrobiana para heridas en la piel, empleando PVA /Gelatina/NPs de Ag. Se obtuvo como resultado un apósito con gran potencial regenerativo y antimicrobiano (Amer y col., 2020).

Rabee y col. (2023) utilizaron NPs de MgO para formar un nanocompuesto con base de PVA/Gelatina con el objetivo de promover biopelículas de envasado activas e inteligentes con propiedades antibacterianas y de detección de humedad para los alimentos. Ellos trabajaron con concentraciones de 1-3-5 y 10% de Nps de MgO, siendo las biopelículas con 5 % de NPs de MgO las que presentaron mejores propiedades (Rabee y col., 2023).

8. APLICACIONES DE LOS NANOCOMPUESTOS

Se han reportado mejoras en los nanocompuestos basados en PVA /Gelatina/NPs en contraste con el PVA y Gelatina sin nanopartículas; las propiedades térmicas, ópticas y mecánicas de estos materiales pueden llegar a mejorarse en función del tipo de material utilizado. Algunas propiedades, como las mecánicas, dependen del tipo de nanopartículas, cantidad, método de incorporación y su dispersión en la matriz polimérica.

Por ejemplo, Galora y col. (2022) realizaron apósitos de PVA /Gelatina/NPs de ZnO obteniendo como resultado que los apósitos que contenían nanopartículas presentan una mejor actividad antimicrobiana (Golara y col., 2022).

Mientras que otros autores como Azizi y col. (2020) obteniendo



nanocompuestos de PVA /Gelatina/NPs de TiO_2 -NPs de ZnO informaron que los análisis de DSC y la TGA se modificaron una vez introducidas las Nps de ZnO y TiO_2 . Por otro lado, se disminuyó la transparencia de la película, también la permeabilidad al vapor de agua, se redujo la permeabilidad al oxígeno y se aumentó la resistencia a la tracción (Azizi y col., 2020).

Es por ello que los nanocompuestos pueden ser útiles como películas biodegradables activas para su aplicación en la industria del envasado y de la ingeniería de tejidos esto debido a que sus propiedades se pueden modular controlando la naturaleza y el nivel de nanopartículas incorporadas.

9. CONCLUSIONES

Los nanocompuestos de PVA /Gelatina/Nanopartículas suelen ser atractivas en diversas áreas esto debido a las mejoras de sus propiedades mecánicas, térmicas, químicas y antibacterianas, las cuales surgieron debido a las investigaciones que se han realizado con respecto a la mezcla de PVA/Gelatina/Nanomateriales para promover la mejora en sus propiedades.

Una ventaja favorable de estas películas es la capacidad de hincharse al entrar en contacto con una solución acuosa, lo que las hace interesantes en diversas áreas. Es por ello que sus potenciales aplicaciones pueden variar desde aplicaciones biomédicas para la obtención de biomateriales regenerativos, liberación de fármacos, generación de andamios, en el área textil y farmacéutica y en el área alimentaria como películas para envasado de verduras y frutas.

REFERENCIAS

- Alipal, J., Mohd Pu'ad, N. A. S., Lee, T. C., Nayan, N. H., Sahari, N., Basri, H., Abdullah, H. Z. (2021). A review of gelatin: Properties, sources, process, applications, and commercialization. *Materials Today: Proceedings*, 42: 240-250. doi:10.1016/j.matpr.2020.12.922
- Al-Maadeed, MA. (2022). Recent advances in the synthesis and applications of polyvinyl alcohol-based nanocomposites. *Materials Today: Proceedings*, 81: 1-52. doi: 10.21203/rs.3.rs-2351430/v1
- Amer S, Attia N, Nouh S, El-Kammar M, Korittum A, Abu-Ahmed H. (2020) Fabricación de esteras ternarias de nanofibras de gelatina/alcohol polivinílico/nanopartículas de plata para su aplicación en la cicatrización de heridas. *Journal of Biomaterials Applications*. 35: 287-298. doi: 10.1177/0885328220927317
- Aslam, M., Kalyar, M.A., Raza, Z.A. (2018). Polyvinyl alcohol: a review of research status and use of polyvinyl alcohol based nanocomposites. *Polymer. Engineering*, 58: 2119–2132. doi.org/10.1002/pen.24855
- Azizi-lalabadi, M., Alizadeh-Sani, M., Divband, B., Ehsani, A., & Julian McClements, D. (2020). Nanocomposite films consisting of functional nanoparticles (TiO₂ and ZnO) embedded in 4A-Zeolite and mixed polymer matrices (gelatin and polyvinyl alcohol). *Food Research International*, 137: 109716. doi:10.1016/j.foodres.2020.109716
- Cederstav, A.K., Novak, B.M. (1994) Investigations into the chemistry of thermodynamically unstable species. The direct polymerization of vinyl alcohol, the enolic tautomer of acetaldehyde. *Journal of the American Chemical Society*, 116: 4073-4074. doi:10.1021/ja00088a051
- Cuesta, A. R., Bravo, L. C., Díaz, Y. R., Galindo, P. B., Lugo, A. P., & Padrón, R. P. (2018). Caracterización de películas de gelatina/glicerol con extracto etanólico de curcuma/Characterization of gelatin/glycerol films with turmeric ethanolic extract. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*. 28: 7-11
- Ejara, T.M., Balakrishnan, S., Kim, J.C. (2021) Nanocomposites of PVA /cellulose nanocrystals: comparative and stretch drawn properties. *SPE Polymers*, 2: 288-296 [https://doi.org/ 10.1002/pls2.10057](https://doi.org/10.1002/pls2.10057)
- Finch, C.A. and Jobling, A. (1977). In *The Science and Technology of Gelatin*, A.G. Ward and A. Courts, Academic Press, London, 74: 24-28
- Golara Nasiri, Negar Azarpira, Aliakbar Alizadeh, Seyed Mojtaba Zebarjad, Maneli Aminshahidi, Omid Alavi, Majid Kamali. (2022). Fabrication and evaluation of poly (vinyl alcohol) /gelatin fibrous scaffold containing ZnO nanoparticles for skin



tissue engineering applications, *Materials Today Communications*, 33: doi.10.1016/j.mtcomm.2022.104476.

Golpira, F., Maftoonazad, N., & Ramaswamy, H. S. (2021). Evaluation of freeze drying and electrospinning techniques for saffron encapsulation and storage stability of encapsulated bioactives. *Journal of Composites Science*, 5: 1-20

Halima, N.B. (2016). Poly(vinyl alcohol): review of its promising applications and insights into biodegradation. *Royal Society of Chemistry*, 6: 39823–39832. doi.org/10.1039/c6ra05742j

Imtiaz, N., Niazi, M. B. K., Fasim, F., Khan, B. A., Bano, S. A., Shah, G. M., Uzair, B. (2019). Fabrication of an Original Transparent PVA/Gelatin Hydrogel: In Vitro Antimicrobial Activity against Skin Pathogens. *International Journal of Polymer Science*, 2021: 1-11doi:10.1155/2019/7651810

Jafari, H., Lista, A., Siekapen, M. M., Ghaffari-Bohlouli, P., Nie, L., Alimoradi, H., & Shavandi, A. (2020). Fish Collagen: Extraction, Characterization, and Applications for Biomaterials Engineering. *Polymers*, 12: 1-37 doi:10.3390/polym12102230

Karmaker, N., Karmaker, H., & Khan, R. A. (2021). A review on PVA-based biodegradable films: a new hope for plastic pollution remediation. *Journal of Asian and African Social Science and Humanities*, 7: 26-37.

Liau, L.C.K., Lin, Y.H. (2017) Effects of electric fields on the conduction of polyvinyl alcohol (PVA)/ZnO films by photoluminescence analysis. *Journal of Luminescence*, 181: 217- 222. doi.org/10.1016/j.jlumin.2016.08.067

Lin, L., Regenstein, J.M., Lv, S., Lu, J., Jiang, S. (2017). An overview of gelatin derived from aquatic animals: properties and modification. *Trends Food Science Technology*, 68: 102-112 https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.012

Noor, N. Q. I. M., Razali, R. S., Ismail, N. K., Ramli, R. A., Razali, U. H. M., Bahauddin, A. R., & Shaarani, S. M. (2021). Application of green technology in gelatin extraction: A review. *Processes*, 9: 1-23

Pandia Estrada, S., Romero Santivañez, R., Céspedes Chombo, R., & Solari Godiño, A. (2021). Películas comestibles a base de gelatina obtenida de piel de mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) y extracto de orégano: Características fisicoquímicas, antimicrobianas, estructurales y de superficie. *Scienvia Agropecuaria*, 12: 229-237. doi.org/10.17268/sci.agropecu.2021.026

Rabee, M., Elmogy, S. A., Morsy, M., Lawandy, S., Zahran, M. A. H., & Moustafa, H. (2023). Biosynthesis of MgO nanoparticles and their impact on the properties of the



PVA/gelatin nanocomposites for smart food packaging applications. *ACS Applied Bio Materials*, 6: 5037-5051

Rather, J. A., Akhter, N., Ashraf, Q. S., Mir, S. A., Makroo, H. A., Majid, D., ... & Dar, B. N. (2022). A comprehensive review on gelatin: Understanding the impact of the sources, extraction methods, and modifications on potential packaging applications. *Food Packaging and Shelf Life*, 34: 1-15 doi: 10.1016/J.FPSL.2022.100945

Said, N. S., & Sarbon, N. M. (2022). Physical and mechanical characteristics of gelatin-based films as a potential food packaging material: A review. *Membranes*, 12: 1-26

Salman, S.A., Homand, H.T., Bakr, N.A. (2018) DSC and TGA properties of PVA films filled with $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. *Journal of Chemical, Biological, and Physical Sciences*, 8: 1-11. doi.org/10.24214/jcbps.C.8.2.00111

Singh, R., Gautam, S., Sharma, B., Jain, P., Chauhan, K.D. (2021). Biopolymers and their classifications. In: *Biopolymers and Their Industrial Applications*. Elsevier. 21-44. doi.org/10.1016/B978-0-12-819240-5.00002-X

Sun M, Wang Y, Yao L, Li Y, Weng Y, Qiu D. (2022). Fabrication and Characterization of Gelatin/Polyvinyl Alcohol Composite Scaffold. *Polymers (Basel)*, 14(7): 1400. doi: 10.3390/polym14071400.

Tong, Y., & Ying, T. (2013). Gelling strength improvement and characterization of a gelatin from scales of bighead carp (*Aristichthys nobilis*). *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 11: 146-150

Vera Garcia, P. F., Guerrero Dimas, L. A., Cedillo Portillo, J. J., Martínez Anguiano, O. A., Sáenz Galindo, A., Narro Cespedes, R. I., & Castañeda Facio, A. (2023). PVA Blends and Nanocomposites, Properties and Applications: A Review. En Ávalos Belmonte F., Francisco J. González F.J., Miguel Ángel López-Manchado M.A. (Eds). *Green-Based Nanocomposite Materials and Applications*, pp. 191-206, Springer.

Zhang, H., Zhang, Y., & Sun, J. (2020). Synthesis and characterization of novel polyvinyl alcohol-based nanocomposites for biomedical applications. *Journal of Materials Science*, 7: 1-10

PANORAMA ACTUAL Y PERSPECTIVAS FUTURAS: UNA BREVE REVISIÓN DE LA INTEGRACIÓN DE LAS HUMANIDADES EN LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

*CURRENT PANORAMA AND FUTURE PERSPECTIVES: A BRIEF
REVIEW OF THE INTEGRATION OF HUMANITIES IN UPPER
SECONDARY EDUCATION*

ALMA PATRICIA FLORES RODRÍGUEZ¹

RICARDO REYNA MARTÍNEZ²

RESUMEN

Esta revisión examina la incorporación de las humanidades en la educación media superior, evaluando su impacto en el desarrollo académico y personal de los estudiantes. A medida que las instituciones educativas buscan preparar a los estudiantes para un entorno laboral y académico cada vez más complejo, las humanidades ofrecen una perspectiva única que fomenta habilidades críticas, creativas y comunicativas. El estudio revisa la literatura reciente sobre los beneficios y desafíos de integrar disciplinas como la filosofía, la literatura, la historia y las ciencias sociales en el currículo. Entre los beneficios destacados están el desarrollo del pensamiento crítico, la mejora en la comunicación y la promoción de la empatía y la comprensión cultural. Este análisis propone estrategias para una integración efectiva, incluyendo diseños curriculares interdisciplinarios, metodologías activas y capacitación docente especializada.

Palabras clave: educación media superior; humanidades; pensamiento crítico.

1. Unidad Académica de Historia, Universidad Autónoma de Zacatecas.
2. Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Coahuila.

Correspondencia
ricardo.reyna@cecytec.edu.
mx

ABSTRACT

This review examines the incorporation of humanities into upper secondary education, evaluating its impact on students' academic and personal development. As educational institutions strive to prepare students for an increasingly complex academic and professional environment, the humanities offer a unique perspective that fosters critical, creative, and communicative skills. The study reviews recent literature on the benefits and challenges of integrating disciplines such as philosophy, literature, history, and social sciences into the curriculum. Notable benefits include the development of critical thinking, enhanced communication, and the promotion of empathy and cultural understanding. This analysis proposes strategies for effective integration, including interdisciplinary curriculum designs, active methodologies, and specialized teacher training.

Fecha de recepción
10 de marzo de 2025.

Fecha de aceptación
11 de junio de 2025.

Keywords: *upper secondary education, humanities, critical thinking.*

INTRODUCCIÓN

La educación media superior enfrenta el desafío de formar estudiantes no solo para el ámbito académico y laboral, sino también como ciudadanos críticos y comprometidos con la sociedad. En un contexto globalizado y en constante transformación, el papel de las humanidades adquiere una relevancia sin precedentes. Disciplinas como la filosofía, la literatura, la historia y las ciencias sociales ofrecen herramientas fundamentales para el desarrollo integral de los estudiantes, fomentando habilidades clave como el pensamiento crítico, la empatía y la comunicación efectiva (De la Cruz Flores, 2020; Vargas Lozano, 2017). Este artículo explora el panorama actual de la integración de las humanidades en la educación media superior, evaluando tanto sus beneficios como los desafíos que enfrenta, y proponiendo estrategias

para superar estos obstáculos.

METODOLOGÍA

Para elaborar este artículo, se llevó a cabo una revisión exhaustiva de la literatura disponible sobre la integración de las humanidades en la educación media superior, utilizando como base criterios rigurosos de selección y análisis. Los trabajos seleccionados se enfocan en estudios que exploran la relación entre las humanidades y el desarrollo de competencias transversales, tales como el pensamiento crítico, la empatía y la creatividad, así como en los desafíos institucionales y pedagógicos que enfrenta su implementación.

CRITERIOS DE SELECCIÓN

Relevancia temática: Se priorizaron publicaciones que examinan específicamente el impacto de las humanidades en la educación media superior, tanto desde perspectivas teóricas como empíricas.

Actualidad: La mayoría de los trabajos seleccionados fueron publicados en los últimos cinco años (2019-2024), asegurando la inclusión de estudios recientes y pertinentes.

Diversidad geográfica: Se incluyeron estudios de diferentes contextos internacionales, como Finlandia, Estados Unidos y América Latina, para ofrecer un panorama amplio y comparativo.

Calidad académica: Solo se consideraron artículos publicados en revistas indexadas o libros académicos reconocidos, garantizando la validez y

confiabilidad de las fuentes.

Perspectiva interdisciplinaria: Se seleccionaron investigaciones que integran disciplinas como la filosofía, literatura, historia y ciencias sociales con enfoques pedagógicos y tecnológicos.

PROCEDIMIENTO DE REVISIÓN

La revisión comenzó con la identificación de palabras clave relacionadas, como "humanidades en educación media superior", "pensamiento crítico", "interdisciplinaria en educación" y "competencias socioemocionales". Estas palabras clave se utilizaron para buscar en bases de datos académicas como Scopus, Web of Science y Google Scholar.

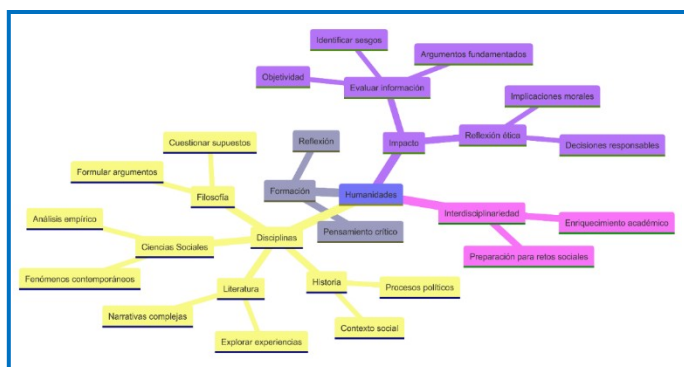
Cada documento identificado fue evaluado mediante un análisis inicial de su título, resumen y palabras clave para determinar su relevancia. Posteriormente, se realizó una lectura detallada de los textos seleccionados, con un enfoque particular en los métodos utilizados, los resultados reportados y las implicaciones pedagógicas discutidas.

RELEVANCIA DE LAS HUMANIDADES EN LA EDUCACIÓN MEDIA SUPERIOR

Las humanidades ocupan un lugar central en la formación de ciudadanos reflexivos y críticos (Figura 1). Estas disciplinas se caracterizan por su enfoque en el análisis de la condición humana, las estructuras culturales y las dinámicas sociales. La filosofía, por ejemplo, desarrolla la capacidad para cuestionar supuestos y formular argumentos coherentes, mientras que la literatura permite explorar

experiencias humanas diversas a través de narrativas complejas (Guevara Niebla, 2021). Por otro lado, la historia proporciona un marco contextual para comprender procesos sociales y políticos, y las ciencias sociales ofrecen herramientas para analizar fenómenos contemporáneos desde una perspectiva empírica (Zambrano y col., 2024).

El impacto de las humanidades en el pensamiento crítico es particularmente significativo. Estas disciplinas estimulan a los estudiantes a evaluar información de manera objetiva, identificar sesgos y desarrollar argumentos fundamentados (Rozo Poveda & Calvache López, 2024). Además, fomentan la reflexión ética, permitiendo a los estudiantes considerar las implicaciones morales de sus decisiones y



acciones. Este enfoque interdisciplinario no solo enriquece el aprendizaje académico, sino que también prepara a los estudiantes para en-

frentar los retos de una sociedad cada vez más compleja.

Figura 1. Lugar de las humanidades en la formación de ciudadanos.

IMPACTO DE LAS HUMANIDADES EN EL DESARROLLO COGNITIVO Y SOCIOEMOCIONAL

La integración de las humanidades en el currículo de educación media superior tiene implicaciones profundas para el desarrollo cognitivo y socioemocional de los estudiantes. Desde una perspectiva cognitiva, disciplinas como la filosofía y la literatura estimulan el pensamiento crítico y la creatividad, promoviendo la capacidad de resolver problemas



complejos de manera innovadora (Quevedo Lezama, 2021). Por ejemplo, el análisis de textos filosóficos o literarios exige a los estudiantes interpretar conceptos abstractos y establecer conexiones entre ideas aparentemente dispares.

En el ámbito socioemocional, las humanidades desempeñan un papel crucial al fomentar la empatía y la comprensión intercultural. La literatura, en particular, ofrece una ventana hacia diferentes contextos históricos y culturales, permitiendo a los estudiantes explorar perspectivas diversas y desarrollar una mayor sensibilidad hacia las experiencias ajenas (Hernández Fonseca y col., 2024). De manera similar, la historia ayuda a los estudiantes a comprender las complejidades de los procesos sociales y políticos, preparándolos para participar activamente en la sociedad como ciudadanos informados y comprometidos (Díaz-Barriga, 2019). En la tabla 1 se presentan algunas perspectivas adicionales sobre la integración de las humanidades en la educación media superior.

Tabla 1. Perspectivas adicionales sobre la integración de las Humanidades en la educación media superior

Ámbito	Conocimiento/Beneficio	Referencias
Educación emocional	Las humanidades fomentan la regulación emocional y la resiliencia en estudiantes al promover la reflexión y el autoconocimiento.	Hernández Fonseca y col. al. (2024)
Tecnología y humanidades	La combinación de ciencias y humanidades permite el desarrollo de competencias híbridas necesarias para la sociedad digital.	Didham (2024)
Competencias globales	Desarrollan habilidades interculturales y éticas necesarias para enfrentar desafíos globales en un contexto multicultural.	Quevedo Lezama (2021)
Métodos pedagógicos	Las metodologías activas, como proyectos integradores, potencian el aprendizaje significativo y el compromiso académico.	Ramírez-Verdugo & Otcu-Grillman (2021)
Impacto en la creatividad	Estimula la innovación mediante actividades que integran pensamiento divergente y convergente, como la escritura creativa.	Zambrano y col. (2024)

DESAFÍOS EN LA IMPEMENTACIÓN DE LAS HUMANIDADES



A pesar de sus numerosos beneficios, la integración de las humanidades en la educación media superior enfrenta varios desafíos. Uno de los más significativos es la resistencia institucional, que a menudo prioriza disciplinas STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas) en detrimento de las humanidades. Esta orientación puede limitar los recursos disponibles para programas humanísticos y reducir su presencia en el currículo (Ramírez-Verdugo & Otcu-Grillman, 2021).

Otro desafío importante es la falta de capacitación docente en enfoques pedagógicos interdisciplinarios. Muchos profesores carecen de las herramientas necesarias para integrar las humanidades de manera efectiva en sus enseñanzas, lo que puede dificultar la implementación de programas innovadores (Didham, 2024). Además, la evaluación de las competencias desarrolladas a través de las humanidades sigue siendo un reto, ya que estas habilidades son menos tangibles y más difíciles de medir en comparación con las competencias técnicas (Zambrano y col., 2024).

ESTRATEGIAS PARA UNA INTEGRACIÓN EFECTIVA

Una estrategia clave para superar estos desafíos es el diseño de currículos interdisciplinarios que combinen elementos de las humanidades con disciplinas técnicas y científicas. Este enfoque permite a los estudiantes desarrollar habilidades transferibles que son aplicables en múltiples contextos. Por ejemplo, un módulo interdisciplinario podría explorar la ética de la inteligencia artificial, combinando conceptos de filosofía, ciencias sociales y tecnología (Zambrano y col., 2024).

La capacitación docente también es fundamental para el éxito de estas iniciativas. Los programas de desarrollo profesional deben enfocarse en proporcionar a los profesores las herramientas y recursos necesarios para incorporar perspectivas humanísticas en sus enseñanzas (Hernández Fonseca y col., 2024). Esto incluye talleres sobre



metodologías activas de aprendizaje, como el aprendizaje basado en proyectos y el análisis de casos, así como acceso a materiales didácticos interdisciplinarios.

La evaluación y retroalimentación también desempeñan un papel crucial en la integración efectiva de las humanidades. Es esencial desarrollar indicadores que midan el impacto de estas disciplinas en el desarrollo de competencias transversales y en el rendimiento académico general. Por ejemplo, se podrían utilizar portafolios estudiantiles para documentar el progreso en habilidades como el pensamiento crítico y la comunicación efectiva (Rozo Poveda & Calvache López, 2024).

ESTUDIOS DE CASO Y EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

La planeación académica es una práctica central para estructurar procesos educativos efectivos, pero también es un espacio donde emergen tensiones entre las exigencias administrativas y las necesidades pedagógicas. Las solicitudes institucionales que requieren a los docentes entregar planes de clase, materiales y anexos antes del inicio del ciclo escolar suelen justificarse bajo la premisa de garantizar la calidad educativa y la organización. Sin embargo, resulta pertinente analizar si estas prácticas realmente contribuyen al desarrollo de experiencias significativas de aprendizaje o si, por el contrario, refuerzan una lógica burocrática que prioriza la forma sobre el fondo.

Casos internacionales como los de Finlandia y Estados Unidos proporcionan una base crítica para evaluar estas dinámicas. En Finlandia, el modelo interdisciplinario ha demostrado su eficacia en preparar a los estudiantes para los retos contemporáneos. Este enfoque combina las humanidades con las disciplinas científicas y tecnológicas, logrando una educación integral que fomenta el desarrollo cognitivo y socioemocional (Didham, 2024). La planeación en este modelo no se limita a organizar

contenidos, sino que actúa como un marco para diseñar experiencias educativas que promuevan competencias transversales, como el pensamiento crítico y la colaboración. La implementación de este enfoque implica un esfuerzo conjunto entre las instituciones y los docentes, asegurando que las exigencias administrativas no obstaculicen la creatividad pedagógica.

Por otro lado, los programas de educación liberal en Estados Unidos destacan la importancia de equilibrar humanidades y ciencias para formar estudiantes con habilidades críticas, creativas y comunicativas. Estas capacidades son esenciales para navegar en un entorno laboral diverso y en constante transformación (Quevedo Lezama, 2021). En este contexto, la planeación no es simplemente una herramienta organizativa, sino un proceso que facilita la adaptación del currículo a las demandas cambiantes de la sociedad y el mercado laboral. Este enfoque resalta el potencial de una planeación académica reflexiva y colaborativa, orientada hacia la innovación y el impacto educativo.

Al considerar estas experiencias, es necesario cuestionar cómo las prácticas actuales de planeación en ciertos contextos locales abordan las necesidades tanto de los docentes como de los estudiantes. La insistencia en entregar materiales en plazos específicos, como el establecido para el 10 de enero, puede promover la eficiencia organizativa, pero también corre el riesgo de reducir la planeación a un ejercicio administrativo. Estrategias como la creación de carpetas en plataformas digitales, aunque útiles para la sistematización, no garantizan que los materiales elaborados sean reflexivos, interdisciplinarios o estén alineados con los objetivos educativos más amplios.

Un aspecto crítico de esta dinámica es el impacto en las condiciones laborales de los docentes. La expectativa de trabajar durante periodos vacacionales plantea preguntas sobre el equilibrio entre las responsabilidades profesionales y el bienestar personal. En modelos como los de Finlandia y Estados Unidos, el éxito depende en gran medida

del apoyo institucional hacia los docentes, incluyendo formación continua, tiempo suficiente para la planeación y recursos para la implementación. Sin estos elementos, la calidad de los materiales entregados podría verse comprometida, favoreciendo enfoques conservadores en lugar de propuestas innovadoras y transformadoras.

El análisis de estos casos resalta la importancia de entender la planeación académica como algo más que un cumplimiento de plazos o la sistematización de información. La verdadera fortaleza de la planeación radica en su capacidad para articular un proyecto educativo que promueva habilidades críticas, interdisciplinarias y socioemocionales en los estudiantes. Aprender de los modelos finlandés y estadounidense implica repensar las prácticas actuales para garantizar que las exigencias administrativas no se conviertan en un obstáculo, sino en un medio para potenciar la calidad de la enseñanza.

CONCLUSIONES

El lugar de las humanidades en la educación contemporánea no puede considerarse accesorio; es una dimensión fundamental para formar individuos capaces de enfrentar con éxito los desafíos académicos, laborales y sociales del siglo XXI. Su implementación, aunque compleja, abre oportunidades para transformar los sistemas educativos en espacios donde las disciplinas dialoguen y se enriquezcan mutuamente. Diseñar currículos interdisciplinarios que incluyan las humanidades no solo fomenta el pensamiento crítico y la creatividad, sino que también promueve una comprensión más profunda de los contextos culturales y éticos que moldean nuestras sociedades.

La capacitación docente y la evaluación adaptativa emergen como elementos clave en este proceso. Formar a los educadores para que comprendan y apliquen enfoques interdisciplinarios permite que las

humanidades se integren de manera orgánica en los procesos de enseñanza, dejando de ser un componente aislado. Al mismo tiempo, sistemas de evaluación que valoren habilidades críticas y socioemocionales, más allá de métricas tradicionales, pueden potenciar el impacto de las humanidades en el aprendizaje.

Los estudios de caso internacionales ofrecen perspectivas valiosas para avanzar en esta dirección. Experiencias como las de Finlandia, con su enfoque interdisciplinario que combina ciencias, tecnologías y humanidades (Didham, 2024), y los programas de educación liberal en Estados Unidos, que equilibran competencias críticas y creativas en contextos diversos (Quevedo Lezama, 2021), demuestran que es posible integrar las humanidades de manera efectiva en distintos entornos educativos. Estos modelos invitan a reflexionar sobre cómo adaptar sus principios a contextos locales, tomando en cuenta las particularidades culturales y los recursos disponibles.

El reto no radica únicamente en incluir las humanidades en los planes de estudio, sino en asegurar que estas desempeñen un papel transformador en la formación académica y personal de los estudiantes. Su integración no solo enriquece el aprendizaje, sino que amplía las posibilidades para construir una sociedad más reflexiva, empática y preparada para los retos de un mundo en constante cambio.

REFERENCIAS

- De la Cruz Flores, I. (2020). Educación inclusiva en el nivel medio-superior: análisis desde la gestión directiva. *Sinéctica*, (54): 1-17. [https://doi.org/10.31391/s2007-7033\(2020\)0054-003](https://doi.org/10.31391/s2007-7033(2020)0054-003)
- Díaz-Barriga, F. (2019). La educación por la inclusión: un tema de derechos humanos y de justicia social. *Sinéctica*, (53): 1-10. [https://doi.org/10.31391/s2007-7033\(2019\)/0053/001](https://doi.org/10.31391/s2007-7033(2019)/0053/001)

- Didham, R. J. (2024). Exploring Interdisciplinary Approaches to Education for Sustainable Development. *Nordic Journal of Comparative and International Education*, 8(2): 2535–4051.
- Guevara Niebla, G. (2021). Culturas inclusivas en educación media superior: construcción y validación de instrumentos. *Perfiles Educativos*, 43(171): 40–62.
- Hernández Fonseca, M., Guerrero, L., & Molina-Montalvo, H. (2024). La formación de los estudiantes de Educación Media Superior: Una estrategia para el fortalecimiento de las Ciencias Sociales y las Humanidades. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i3.2046>
- Quevedo Lezama, C. (2021). *Desafíos para la educación del siglo XXI*. Global Knowledge Academics. ISBN: 978-84-15665-75-5
- Ramírez-Verdugo, M. D., & Otcu-Grillman, B. (2021). *Interdisciplinary Approaches Toward Enhancing Teacher Education*. IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-7998-4697-0>
- Rozo Poveda, N. J., & Calvache López, J. E. (2024). El Pensamiento Crítico en la Educación Media: un acercamiento a las prácticas docentes. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 5(5): 3321–3335. <https://doi.org/10.56712/latam.v5i5.2864>
- Vargas Lozano, G. (2017). La filosofía y las humanidades y su (no) lugar en la reforma integral de la educación media superior de la SEP. *Murmillos Filosóficos*, 1(1): 48–61. Recuperado de <https://www.revistas.unam.mx/index.php/murmillos/article/view/59262>
- Zambrano, C., Valdivia, J., Friz, M., & Nail, O. (2024). Design of a process for learning critical thinking in higher education students, using scientific infographics. *Formación Universitaria*, 17(3): 11–20. <https://doi.org/10.4067/s0718-50062024000300011>

MODELACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA EN UN LÁTEX BASE AGUA

MODELING OF THE PARTICLE SIZE DISTRIBUTION OF POLYMER PARTICLES IN A WATERBORNE LATEX

PORFIRIO LÓPEZ DOMÍNGUEZ¹

IVÁN ZAPATA GONZÁLEZ¹

ESTHER TREVIÑO MARTÍNEZ²

ENRIQUE SALDÍVAR GUERRA¹

RESUMEN

El producto principal de una polimerización en emulsión en agua es un látex polimérico, el cual se usa ampliamente en la producción de materiales de uso diario como recubrimientos y adhesivos. Por definición, el látex polimérico es una dispersión coloidal de partículas poliméricas. El tamaño de las partículas de un látex se reporta como el diámetro promedio de las partículas (D_p), mismo que se calcula a partir de la distribución de tamaños de partícula (DTP). Los valores de los diámetros de las partículas poliméricas suelen situarse en el intervalo de 10 a 500 nm. En este trabajo, se desarrolla un modelo matemático basado en el modelo de pseudo-masa con la finalidad de estimar la rapidez de producción de un látex y su DTP en un reactor intermitente isotérmico. Se resuelven numéricamente ecuaciones diferenciales ordinarias obtenidas de balances de materia para todos los componentes involucrados en el reactor (monómero, iniciador, tensoactivo, especies poliméricas, agua y partículas poliméricas). Los resultados numéricos se comparan con datos experimentales de la polimerización en emulsión de estireno a 60 °C. En contraste con otros modelos reportados en la literatura, los perfiles calculados para las DTP no presentan oscilaciones espurias.

Palabras clave: distribución de tamaños de partícula (DTP); modelo cinético; estireno; dispersión de luz dinámica; polimerización en emulsión.

1. Departamento de Procesos de Polimeración, Centro de Investigación en Química Aplicada.

2. Departamento de Química Macromolecular y Nanotecnología, Centro de Investigación en Química Aplicada.

Correspondencia
enrique.saldivar@ciqa.edu.mx
<https://orcid.org/0000-0001-9623-575X>



CienciAcierta

Fecha de recepción
5 de marzo de 2025.

Fecha de aceptación
11 de junio de 2025.

ABSTRACT

The main product of an emulsion polymerization in water is a polymer latex, which is widely used in the production of daily use materials such as coatings and adhesives. By definition, a latex is a colloidal dispersion of polymer particles. The size of the polymer particles of a latex is reported as the average diameter of the particles, (D_p), which in turn is calculated from the particle size distribution (PSD). The values of the polymer particle diameters are usually located in the interval from 10 to 500 nm. In this work, a mathematical model based on the pseudo-bulk model is developed in order to estimate the production rate of a latex and its PSD in an isothermal batch reactor. Ordinary differential equations obtained from material balances for all components involved in the reactor (monomer, initiator, surfactant, polymer radicals, water and polymer particles) are numerically solved. The numerical outputs are compared with experimental data of the emulsion polymerization of styrene at 60 °C. In contrast to previously reported models in the literature, the calculated profiles of the PSD do not present spurious oscillations.

Keywords: *particle size distribution (PSD); kinetic model; styrene; dynamic light scattering; emulsion polymerization.*

INTRODUCCIÓN

Los polímeros o macromoléculas son materiales que pueden ser sólidos o viscosos, con aplicación en la fabricación de productos de uso cotidiano tales como botellas de plástico, ropa, adhesivos, pinturas, útiles escolares, partes de carros y aparatos electrónicos, entre muchos otros. Los polímeros se originan a partir de

moléculas conocidas como monómeros; p. ej., el poliestireno (PS) se obtiene de la polimerización de un gran número de moléculas de estireno que se unen químicamente (Gilbert, 2005). En la Figura 1 se ilustra una molécula de estireno y una fracción de una macromolécula de PS.

El estireno es un líquido con una masa molar de 104 g mol^{-1} , mientras que el PS es un sólido conformado por macromoléculas con masas molares

hasta cien o mil veces mayores que la del estireno. Por las diferencias de estructuras y tamaños entre las moléculas de un polímero y su monómero, se puede decir que sus propiedades físicas son totalmente diferentes. La síntesis de macromoléculas involucra diferentes técnicas de polimerización como las polimerizaciones por radicales libre o por pasos. En la polimerización por radicales libres en emulsión (PE) se obtiene un látex sintético, el cual está compuesto de partículas poliméricas muy pequeñas dispersas en agua y estabilizadas con uno o varios agentes tensoactivos (Blackley, 1975), ver Figura 2.

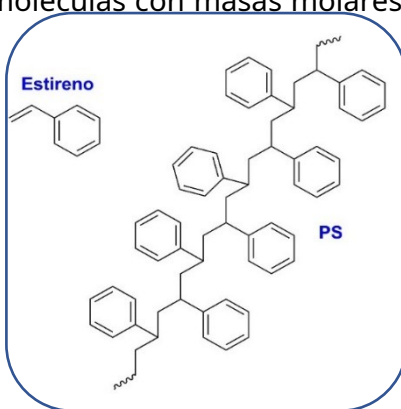


Figura 1. La macromolécula (o polímero) de poliestireno (PS) se forma a partir de la unión de un gran número

A principios del siglo pasado, la compañía *The Goodyear Tire & Rubber Company* desarrolló la PE con el propósito de imitar la producción del látex natural (*American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks, 2024*). El látex natural se puede obtener de la corteza de árboles como el árbol del caucho (*Hevea brasiliensis*), *Manilkara zapota* (Chicozapote) y *Euphorbia tirucalli* (árbol del lápiz) (*Lewarchik, 2016*). Con el látex de *Hevea brasiliensis* se fabrican productos de uso regular como guantes, globos, ligas y otros materiales usados en odontología y diferentes áreas de la medicina.

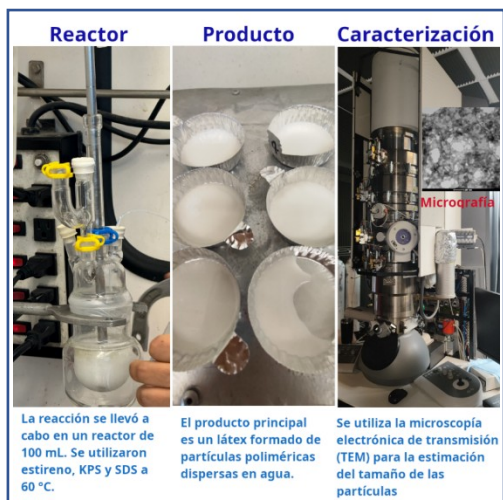


Figura 2. Preparación y caracterización de un látex de ps. El tamaño promedio de las partículas es menor que una micra, por lo que no son visibles a simple vista; sin embargo, le dan un aspecto lechoso al látex porque dispersan la luz visible.

ROL DEL AGUA EN LA PE

El agua juega un rol fundamental en la PE ya que sirve como vehículo para disipar el calor y mejorar su transferencia, así como para reducir la viscosidad del medio de reacción respecto a otros procesos de polimerización. Además, evita el uso de solventes orgánicos que contaminan el ambiente y pueden afectar la salud. Es importante mencionar que el agua que se utiliza en el proceso debe ser previamente desionizada para eliminar iones que pueden interferir con la reacción. El agua en el látex obtenido al final de la polimerización tiene dos destinos posibles: i) p. ej., si el látex se utiliza directamente para la formulación de un recubrimiento, el agua se evapora después de la aplicación del recubrimiento; ii) si se requiere la recuperación del polímero como producto sólido, el látex se coagula y el polímero se separa de la fase acuosa y se seca, mientras que el agua debe pasarse por un sistema de tratamiento de aguas para reutilizarse o enviarse al drenaje sin causar daños ecológicos. La Figura 3 ilustra el ciclo del agua en la PE.



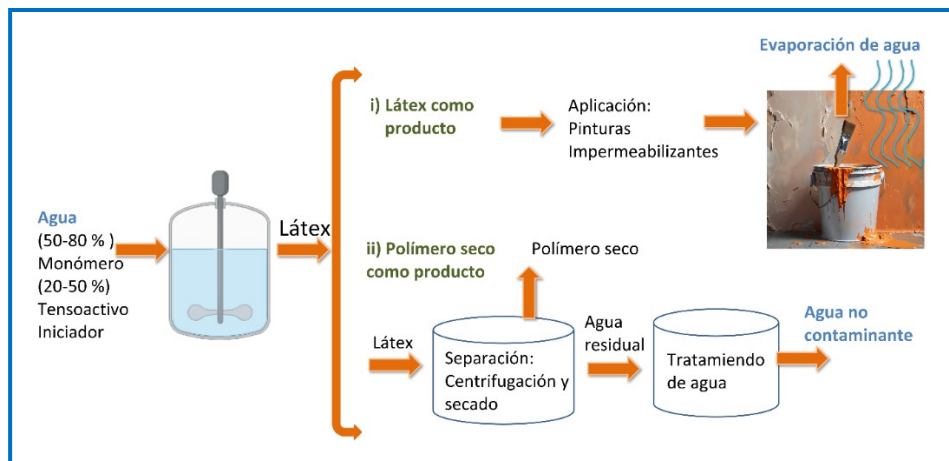


Figura 3. Ciclo del agua en la PE.

DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑOS DE PARTÍCULA (DTP) EN EL LÁTEX

Generalmente, las partículas poliméricas que se encuentran en el látex no son uniformes en tamaños presentando diámetros que pueden variar de 10 a 500 nm. Estas diferencias dan lugar a una distribución de tamaños de partícula (DTP) que contiene información sobre la proporción, en número o volumen, de las partículas de un determinado tamaño. La DTP puede tener distintas formas, como la campana de Gauss que se ilustra en la gráfica de la Figura 4A. En esta gráfica, el eje de las ordenadas representa la fracción volumétrica de partículas de un diámetro dado (normalizada por el pico más alto) y el eje de las abscisas el diámetro de las partículas en nanómetros D_p (nm).

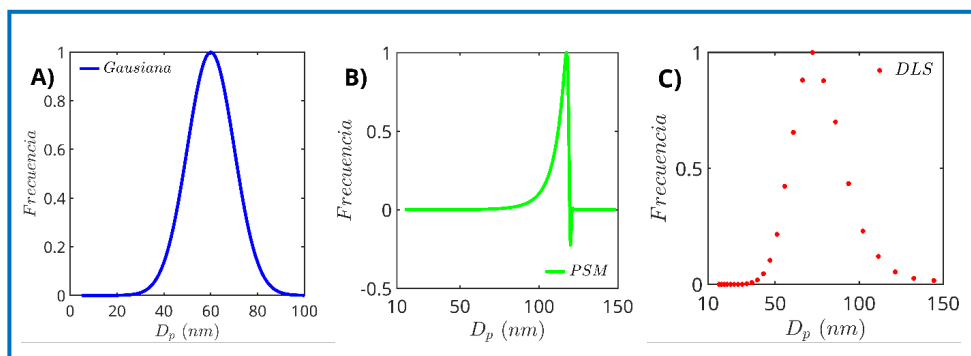


Figura 4. A) DTP con forma de campana de Gauss con una media $\mu = 60$ nm y desviación estándar $\sigma = 10$ nm, B) simulación de la DTP usando el modelo pseudo-masa (PSM) resuelto por un método de residuos ponderados. Los



valores negativos en el frente de la DTP no representan la realidad y son un *artefacto* numérico, y C) DTP determinada experimentalmente por dispersión dinámica de luz (DLS).

Conocer la forma de la DTP, así como el diámetro promedio de las partículas, es importante porque afecta propiedades del látex como la viscosidad y el tiempo de secado, así como las propiedades mecánicas de las películas (Vale y McKenna, 2005); por ejemplo, cuando el látex se usa como tal para la elaboración de pinturas. Algunas técnicas experimentales utilizadas para estimar la DTP incluyen la dispersión dinámica de luz (DLS, por sus siglas en inglés de *dynamic light scattering*), microscopía electrónica de transmisión (TEM, *transmission electron microscopy*) y difracción láser (Microtrac Company, 2024; Vale y McKenna, 2005).

SÍNTESIS DEL LÁTEX EN EL LABORATORIO

Generalmente, un látex sintético se puede obtener a partir de cuatro ingredientes básicos: iniciador, monómero, tensoactivo y agua (Blackley, 1975). La masa del agua puede ser del 50 al 80% con respecto a la masa total de los componentes. La reacción se puede realizar en un reactor intermitente con control de temperatura, típicamente en el intervalo de 50 a 70 °C. La conversión del monómero (fracción masa del monómero que se transforma a polímero), así como evolución de la DTP, se puede estimar tomando pequeñas muestras de látex del reactor cada cierto intervalo de tiempo. De esta manera, es posible analizar el efecto de la temperatura del reactor y la concentración de los componentes de la formulación (iniciador, tensoactivo, monómero, entre otros), sobre las propiedades del látex y del polímero. No obstante, una gran cantidad de experimentos adicionales involucra un mayor gasto en reactivos y tiempo de trabajo; por lo cual se recomienda utilizar un modelo matemático para la optimización, control y escalamiento del proceso.

MODELOS MATEMÁTICOS USADOS PARA ANALIZAR LA DTP EN LA

PE

Un modelo matemático captura los fenómenos más importantes de un proceso en términos de expresiones matemáticas. Un conjunto de ecuaciones diferenciales se puede utilizar para conocer el cambio de la conversión del monómero y el número de partículas poliméricas en el látex por unidad de tiempo. En la simulación de la DTP en una PE se han utilizado globalmente dos modelos: modelo 0-1-2 y modelo PSM, los cuales son representados por ecuaciones diferenciales parciales (EDP) que relacionan el número de partículas poliméricas (f) con el tiempo de reacción (t), la masa de la partícula (m_p), y derivadas parciales con respecto a t y m_p ($\frac{\partial f}{\partial t}$, $\frac{\partial f}{\partial m_p}$, respectivamente). Una derivada indica el cambio de una cantidad con respecto a otra (p. ej., la velocidad es la derivada del desplazamiento (x) con respecto al tiempo: $v = \frac{dx}{dt}$). Un rasgo relevante de la mayoría de las EDP es que no tienen soluciones analíticas y que se emplean métodos numéricos (implementados en una computadora) para obtener estimaciones de f . El objetivo de un método numérico es aproximar funciones complejas con funciones más sencillas, p. ej., el área bajo la campana de Gauss se puede aproximar como la suma de las áreas de pequeños trapecios acomodados de tal manera que abarcan el área total.

La clave para diferenciar el modelo 0-1-2 del modelo PSM, descansa en el número de radicales presentes en las partículas poliméricas. Inicialmente, los radicales primarios se generan a partir de la descomposición térmica de un iniciador, como el persulfato de potasio (KPS), en el agua. El número de radicales poliméricos en las partículas poliméricas dependerá de: a) la rapidez de entrada de los radicales primarios a las partículas poliméricas, b) la desorción de radicales desde las partículas hacia la fase acuosa, y c) la rapidez de eliminación de radicales poliméricos dentro de las partículas, por la reacción de terminación de dos radicales. En el modelo 0-1-2, se establece que el número máximo de radicales en una partícula es dos, mientras que en el modelo PSM se utiliza un promedio ($\bar{n} > 0$). La solución numérica de estos



modelos ha sido ampliamente investigada. Un caso especial es la PE *ab initio*, donde hay cero partículas poliméricas al inicio de la reacción y las partículas se generan por la denominada nucleación micelar (Blackley, 1975). Cuando se utiliza el modelo PSM para simular la PE *ab initio*, algunos métodos numéricos, como el método de residuos ponderados, producen oscilaciones numéricas y valores negativos en el frente de la DTP (ver Figura 4B), los cuales no representan la realidad y son un *artefacto* numérico. Esto se debe a que la mayoría de los métodos numéricos utilizan funciones sencillas que no pueden capturar adecuadamente cambios bruscos en las pendientes de las curvas. Esto contrasta con los datos experimentales de DTP, cuyas formas son similares a una campana de Gauss (Figura 4).

El objetivo de esta investigación es utilizar un método numérico con el cual se obtenga una reducción de oscilaciones numéricas y comparar con datos experimentales obtenidos de una PE *ab initio* de estireno en un reactor intermitente a 60 °C, utilizando KPS como iniciador y dodecilsulfato de sodio (SDS) como tensoactivo. Se utiliza el modelo PSM porque es relativamente fácil de programar ya que consiste de solamente una EDP. Para la solución numérica se emplea el método de volumen finito, el cual se recomienda para el cálculo de DTP sin oscilaciones (Vale y McKenna, 2005; Vale y McKenna, 2007).

METODOLOGÍA

En el desarrollo de un modelo matemático se toman en cuenta las variables más relevantes del proceso. Por un lado, se consideran las reacciones químicas que ocurren en el reactor (iniciación, propagación y terminación), el número de fases presentes, el tipo de operación del reactor (intermitente o continuo), y las condiciones iniciales (concentraciones de los componentes y temperatura). Por otro lado, se investigan los métodos numéricos y algoritmos que producen resultados

razonables en el menor tiempo de cómputo.

A continuación, se presenta el procedimiento utilizado en esta investigación (ver Figura 5):

1. Los experimentos se llevaron a cabo a temperatura y velocidad de agitación constantes para producir una mezcla homogénea. Esto simplifica el modelo, ya que la concentración de cualquier componente es la misma en cualquier parte del reactor y se evita la inclusión de variables espaciales como las dimensiones del reactor.
2. En la receta de la reacción se indicó la cantidad de cada reactivo, así como la temperatura y presión a la que se llevó a cabo la polimerización.
3. Se listaron las reacciones más importantes que ocurren en la PE así como sus respectivas constantes cinéticas cuyos valores se muestran en la Tabla 1. Esta información se obtuvo de bases de datos y artículos científicos de la literatura (López-Domínguez y col., 2023; Saldívar y Ray 1997).

Tabla 1. Coeficientes cinéticos utilizados en las simulaciones con T en K. Los valores se obtuvieron de López-Domínguez y col., 2023.

Coeficiente cinético	Nomenclatura (unidades)	Valor
Descomposición del iniciador	k_d (s ⁻¹)	$1.8 \times 10^{17} \exp(-371/T)$
Propagación del monómero en la fase acuosa	$k_{p,w}$ (L mol ⁻¹ s ⁻¹)	$4.27 \times 10^7 \exp(-390/T)$
Propagación del monómero en las partículas poliméricas	$k_{p,p}$ (L mol ⁻¹ s ⁻¹)	$4.27 \times 10^7 \exp(-390/T)$
Terminación de radicales poliméricos	k_{tc} (L mol ⁻¹ s ⁻¹)	$1.06 \times 10^9 \exp(-753/T)$
Nucleación micelar	k_{mm} (dm s ⁻¹)	1.5×10^{-6}



4. e realizaron balances de materia para cada componente, en la fase acuosa y en las partículas poliméricas, mediante ecuaciones diferenciales. En un reactor intermitente la rapidez de acumulación de un componente es igual a la rapidez de generación del mismo.

La ecuación que describe la DTP usando el modelo PSM es:

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{d m_p}{dt} \right) f}{\partial m_p} = 0' \quad \frac{d m_p}{dt} = \frac{k_p \bar{n}(t, m_p) [M_p] W_m}{N_A} \quad (1)$$

donde m_p , t , $f = f(m_p, t)$, k_p , \bar{n} , $[M_p]$, W_m y N_A representan la masa de partícula, el tiempo, el número de partículas poliméricas por litro de agua con una masa m_p , el coeficiente cinético de propagación, el número promedio de radicales en las partículas poliméricas, la concentración de monómero en las partículas poliméricas, la masa molar del monómero y el número de Avogadro, respectivamente.

5. En la solución numérica del problema, primero se discretizó la variable independiente de m_p en 600 subintervalos. Después se aproximó la derivada del término hiperbólico utilizando el método de volúmenes finitos reduciéndose a un sistema de ecuaciones diferenciales ordinarias. La integración numérica se realizó en MATLAB y/o el software libre *Sundials* (Hindmarsh y col., 2005). La $[M_p]$ se estimó utilizando el método de coeficientes de partición.



6. Se definieron los resultados deseados, p. ej., la conversión de estireno se calculó usando la ecuación (2), donde V_p y V_w corresponden al volumen total de las partículas poliméricas y el volumen de agua, respectivamente. También se obtuvo la evolución de las DTP con el tiempo. Finalmente, los resultados se contrastaron con los respectivos datos experimentales.

$$X_{Sty} = 1 - \frac{[M_p]V_p + [M_w]V_w}{M_0} \quad (2)$$

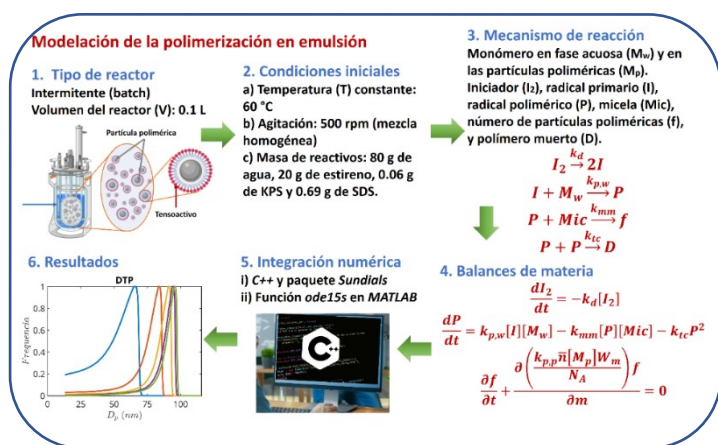


Figura 5. Diagrama de la simulación de una polimerización en emulsión.

RESULTADOS

Se estudió la producción de un látex *ab initio* en un reactor intermitente usando estireno como monómero, KPS como iniciador y SDS como tensoactivo, a 60 °C (proceso isotérmico). En la Figura 6 se comparan los datos experimentales de conversión con los obtenidos mediante el modelo PSM. El modelo subestima los valores absolutos de las conversiones con un error relativo promedio porcentual (% ERP) del 26%; sin embargo, captura adecuadamente la forma general de la curva de evolución. La ecuación (3) define el cálculo del % ERP donde ND, $X_{c,i}$ y $X_{exp,i}$ son el número total de datos, la conversión calculada y la



conversión experimental, respectivamente. Es importante señalar que no se hizo ningún ajuste de parámetros, por lo cual el ERP se podría reducir mediante el reajuste de coeficientes cinéticos (p. ej. k_{mm}).

$$\%ERP = \frac{100}{ND} \sum_{i=1}^{ND} \left(\frac{X_{c,i} - X_{exp,i}}{X_{exp,i}} \right)^2 \quad (3)$$

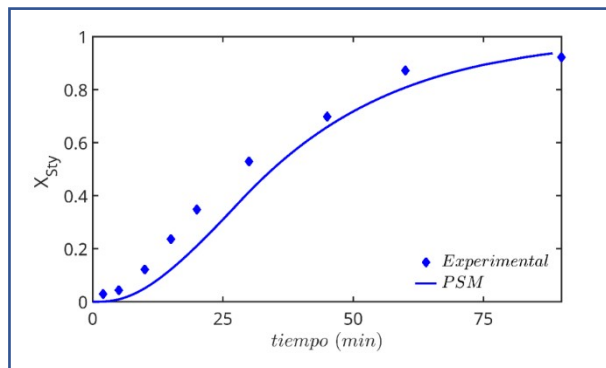


Figura 6. Comparación de datos experimentales con el perfil calculado de X_{sty} contra tiempo de reacción (min) en una PE de estireno con KPS y SDS a 60 °C en un reactor intermitente. La simulación se realizó con el

modelo PSM, el cual se resolvió usando el método de volumen finito.

Con respecto a la evolución de la DTP con el tiempo de reacción, se observa que las DTP experimentales son más amplias, mientras que los diámetros predichos por el modelo PSM no son mayores que 100 nm (ver Figura 7). Parte de la discrepancia se debe al uso del modelo PSM; se sabe (López-Domínguez y col., 2023) que el modelo 0-1-2 evita los frentes abruptos en la DTP que genera el modelo PSM y que no se observan experimentalmente. En adición a ello, actualmente se están haciendo experimentos para determinar la precisión de las mediciones del D_p por la técnica de DLS, con el propósito de encontrar explicaciones adicionales para la discrepancia entre el modelo y el experimento en este caso.



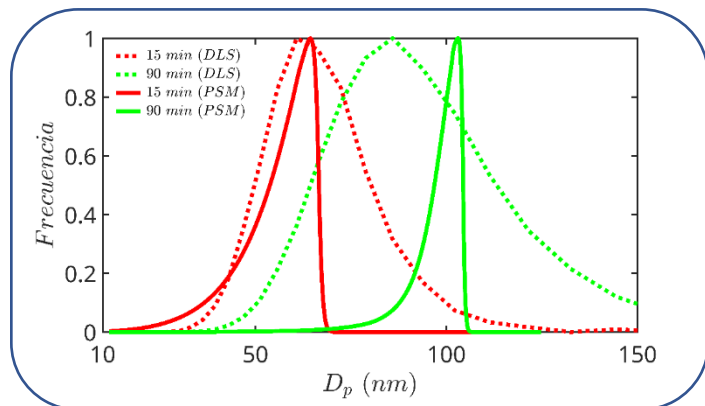


Figura 7. Simulación de la DTP usando el modelo PSM y DTP experimentales obtenidas mediante DLS a 15 y 90 min para la polimerización de estireno con KPS y SDS a 60 °C.

CONCLUSIONES

Se desarrolló un modelo matemático basado en el modelo PSM para estudiar la evolución de la conversión y de la DTP en la PE de estireno con KPS y SDS en un reactor intermitente a 60 °C. La solución numérica se obtuvo aplicando el método de volumen finito, el cual generó resultados sin oscilaciones en el cálculo de la DTP. El modelo subestimó los datos experimentales de conversión con un error relativo del 26 % usando valores reportados de coeficientes cinéticos de la literatura. Con el paso del tiempo de reacción desde 15 hasta 90 min, las DTP se desplazaron a la derecha haciéndose cada vez más estrechas. En contraste, las DPS experimentales medidas por DLS fueron más amplias indicando la presencia de partículas con diámetros de partícula mayores que 100 nm. Parte de la discrepancia entre el modelo y el experimento se debe al uso de un modelo pseudo-masa que no es suficiente para representar correctamente la forma del frente de la DTP. Actualmente, se investiga la medición de la DTP por DLS y TEM con la finalidad de encontrar explicaciones adicionales para la diferencia entre las predicciones del modelo y los resultados experimentales.

REFERENCIAS

- American Chemical Society National Historic Chemical Landmarks. (1993). *Bakelite: The World's First Synthetic Plastic*. Recuperado el 19 de mayo de 2025, de <http://www.acs.org/content/acs/en/education/whatischemistry/landmarks/bakelite.html>
- Blackley, D. C. (1975). *Emulsion Polymerization: Theory and practice*. Springer.
- Gilbert, Robert G. (1995) *Emulsion Polymerization: A mechanistic approach*, Academic Press.
- Hindmarsh, A. C., Grant, K. E., Lee, S. L., Serban, R., Shumaker, D. E., & Woodward, C. S. (2005). SUNDIALS: Suite of Nonlinear and Differential/Algebraic Equation Solvers. *ACM Transactions on Mathematical Software*, 31(3): 363-396. <https://doi.org/10.1145/1089014.1089020>
- Lewarchik, R. (2016). *The Fundamentals of Emulsion Polymerization*. Recuperado el 19 de mayo de 2025, de <https://www.ulprospector.com/knowledge/4911/pc-fundamentals-emulsion-polymerization/>
- López-Domínguez, P., Saldívar-Guerra, E., Trevino, M. E., & Zapata-González, I. (2023). Precise Modeling of the Particle Size Distribution in Emulsion Polymerization: Numerical and Experimental Studies for Model Validation under Ab Initio Conditions. *Polymers*, 15(22): 4467. <https://doi.org/10.3390/polym15224467>
- Microtrac Company (18 de mayo de 2025). *Analysis of particle size distribution*. Recuperado el 19 de mayo de 2025, de <https://www.microtrac.com/knowledge/particle-size-distribution/#:~:text=A%20particle%20size%20distribution%20indicates,called%20size%20classes%20or%20fractions.&text=Quantification%20can%20now%20be%20performed,the%20total%20amount%20or%20weight.>
- Saldívar, E., & Ray, W. H. (1997). Mathematical Modeling of Emulsion Copolymerization Reactors: Experimental Validation and Application to Complex Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 36(4): 1322-1336. <https://doi.org/10.1021/ie960464z>
- Vale, H. M., & McKenna, T. F. (2005). Modeling particle size distribution in emulsion polymerization reactors. *Progress in Polymer Science*, 30(10): 1019-1048. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2005.06.006>

Vale, H. M., & McKenna, T. F. (2007). Solution of Population Balance Equations for Emulsion Polymerization: Zero–One and Zero–One–Two Systems. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 46(2): 643-654. <https://doi.org/10.1021/ie060928l>

DE RESIDUOS ORGÁNICOS A LA ALTA COCINA: LOS HONGOS COMESTIBLES QUE TRANSFORMAN LA ALIMENTACIÓN SOSTENIBLE Y SUSTENTABLE

FROM ORGANIC RESIDUES TO HAUTE CUISINE: THE EDIBLE MUSHROOMS THAT TRANSFORM SUSTAINABLE AND SUSTAINABLE FOOD

ALEJANDRA RENDÓN BENJUMEA¹

MARIO ALBERTO CRUZ HERNÁNDEZ²

ARACELI LOREDO TREVIÑO¹

ROSA MARÍA RODRÍGUEZ JASSO²

HÉCTOR ARTURO RUIZ LEZA¹

RUTH ELIZABETH BELMARES CERDA¹

RESUMEN

El desperdicio de alimentos representa un desafío ambiental y económico de gran magnitud, con volúmenes significativos de residuos generados en hogares, mercados, restaurantes, industrias y el sector agrícola. El aprovechamiento de estos residuos es esencial para mitigar los impactos mencionados, una de las estrategias más innovadoras es la bioconversión microbiana, donde los hongos desempeñan un papel crucial. La producción de hongos comestibles permite transformar residuos orgánicos de cocina, como restos de café, cáscaras de frutas y vegetales, en una fuente de alimento altamente nutritiva. Su cultivo en casa requiere la desinfección del sustrato, la inoculación con esporas y el control de temperatura y humedad hasta su crecimiento y cosecha. Desde una perspectiva nutricional y médica, los hongos comestibles poseen un perfil excepcional: hiperproteicos, bajos en calorías y lípidos y alto contenido de minerales y vitaminas esenciales, además de compuestos bioactivos como fenoles y terpenos, con efectos antioxidantes, antiinflamatorios, anticancerígenos, antivirales y hepatoprotectores. Estos hongos tienen la capacidad para modular la respuesta inmunitaria y actuar como prebióticos, favorecen el equilibrio de la microbiota intestinal reduciendo microorganismos patógenos y promoviendo la proliferación de bacterias beneficiosas. Asimismo, aportan minerales esenciales como potasio, fósforo y calcio, lo que los

1. Departamento de Investigación en Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químicas, Unidad Sureste, UAdeC.

Correspondencia
ruthbelmares@uadec.edu.m
x
<https://orcid.org/0000-0003-1362-4691>



CienciAcierta

convierte en un complemento nutricional valioso. El presente trabajo busca mostrar el potencial de los residuos orgánicos de cocina como sustrato en la producción de hongos comestibles, fomentando su integración como estrategia sostenible para la reducción de desperdicio alimentario y el desarrollo de métodos de producción más sostenibles.

Palabras clave: economía circular; producción de hongos; valor nutricional; residuos orgánicos

Fecha de recepción
4 de abril de 2025.

Fecha de aceptación
14 de mayo de 2025.

ABSTRACT

Food residues represent a major environmental and economic challenge, with significant volumes of residue generated in homes, markets, restaurants, industries, and the agricultural sector. Recycling these residues is essential to mitigate the impacts mentioned, and one of the most innovative strategies is microbial bioconversion, where fungi play a crucial role. The production of edible mushrooms enables the transformation of organic kitchen waste, such as coffee grounds, fruit and vegetable peels, into a highly nutritious food source. Home cultivation requires substrate disinfection, inoculation with spores, and the control of temperature and humidity until growth and harvest. From a nutritional and medical perspective, edible mushrooms have an exceptional profile: they are high in protein, low in calories and lipids, and rich in essential minerals and vitamins. Furthermore, they contain bioactive compounds such as phenols and terpenes, with antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, antiviral, and hepatoprotective effects. These mushrooms can modulate the immune response and act as prebiotics, supporting the balance of the gut microbiota by reducing pathogenic microorganisms and promoting the proliferation of beneficial bacteria. Additionally, they provide essential minerals such as potassium, phosphorus, and calcium, making them a valuable nutritional supplement. In this sense, this work aims to demonstrate the potential of organic kitchen residues as a substrate to produce edible mushrooms, promoting their integration into households as a sustainable strategy for reducing food waste and developing methods for more sustainable

production.

Keywords: circular economy; mushroom production; nutraceutical value; organic residues.

1. INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, demográfico y la industrialización han impulsado un incremento significativo en la generación de residuos orgánicos, especialmente los residuos alimentarios. Actualmente, se producen aproximadamente 1,050 millones de toneladas de residuos orgánicos a nivel mundial (Zhang y col., 2025), y se estima que, la generación mundial de residuos orgánicos podría alcanzar los 3.4 mil millones de toneladas para el 2050 (Soong y col., 2024). Dentro de esta problemática, los residuos orgánicos de cocina representan una proporción considerable, incluyendo restos de alimentos en mal estado, sobras y materiales no aptos para el consumo humano, cuya composición varía según los hábitos alimentarios y las prácticas culinarias (Fayaazuddin y col., 2023).

Su impacto ambiental y económico es especialmente preocupante en el ámbito doméstico, lo que ha llevado a numerosos estudios a analizar sus causas y proponer soluciones para reducir su producción (Fayaazuddin y col., 2023). Ante esta problemática, es fundamental promover la educación ambiental y desarrollar estrategias innovadoras para la revalorización de los residuos alimentarios, contribuyendo así a una gestión más sostenible de los recursos. Sin embargo, en la actualidad, ninguno de los métodos disponibles para reutilizar los residuos de cocina ha alcanzado una etapa de madurez suficiente para manejar el inmenso volumen que se genera anualmente (Mahish y col., 2024). Una de las estrategias innovadoras que puede resolver esta problemática es la producción de hongos comestibles a base de residuos orgánicos de cocina, ya que los hongos comestibles tienen la capacidad para descomponer materia orgánica, participar en ciclos nutricionales y

resistir condiciones adversas, siendo un método de bioconversión beneficioso, transformando materiales de residuo en recursos potencialmente valiosos (Soong y col., 2024).

Se considera que existen más de 140,000 especies de hongos en la naturaleza, de las cuales solo alrededor de 2,000 han sido identificadas como comestibles. Sin embargo, únicamente 25 especies se comercializan activamente como alimento, destacando *Agaricus bisporus* (champiñón), *Pleurotus ostreatus* (hongo ostra), *Lentinula edodes* (shiitake), *Cordyceps militaris* (beldar-mazo), *Hericium erinaceus* (melena de león), *Volvariella volvacea* (champiñón de paja), y *Auricularia spp* (hongo de oreja). Algunas especies, como *Ganoderma lucidum* (reishi), si bien se encuentran dentro de este grupo, su uso es principalmente medicinal más que culinario, debido a sus propiedades bioactivas. (Hamza y col., 2024; Jahedi y col., 2024).

Los hongos comestibles son una fuente segura y eficiente de proteínas vegetales, con un alto contenido de aminoácidos esenciales como leucina, treonina, ácido glutámico, valina, arginina y ácido aspártico, además de aminoácidos no esenciales como el GABA (ácido gamma-aminobutírico) y la ornitina, que desempeñan funciones metabólicas y neurotransmisoras (Hamza y col., 2023). Los hongos comestibles están siendo cada vez más apreciados por su distintivo sabor umami, utilizándolos como potenciadores naturales de sabor con bajo contenido de sodio, lo que los hace ideales para la formulación de productos sustitutos de carne. Los hongos comestibles producen compuestos bioactivos que son sustancias químicas que intervienen en las actividades celulares y fisiológicas adquiriendo, tras su ingesta, un efecto beneficioso para la salud. Los compuestos bioactivos de los hongos comestibles tienen un importante valor nutricional y medicinal que varían según su especie. La industria del cultivo de hongos comestibles está experimentando un crecimiento significativo gracias a la capacidad de transformar residuos orgánicos en alimentos, contribuyendo a reducir la contaminación ambiental asociada con la eliminación inadecuada de residuos (Zhang y col., 2025). Este enfoque no solo es

económicamente viable, sino que también resalta la importancia de la economía cero residuos y la eficiencia en la producción alimentaria. El uso de residuos orgánicos de cocina para la producción de hongos comestibles resalta la necesidad de innovación y sostenibilidad en la gestión de residuos, integrando los hongos en la cadena alimentaria destacándose como un pilar clave para el desarrollo de un modelo agroindustrial y gastronómico sostenible y sustentable.

2. ¿CÓMO LOS HONGOS COMESTIBLES PUEDEN CRECER EN RESIDUOS ORGÁNICOS DE COCINA?

Los residuos orgánicos de cocina están compuestos en gran parte por lignocelulosa, un complejo estructural presente en las paredes celulares de las plantas. Este está formado por tres biopolímeros que se encuentran firmemente entrelazados y químicamente unidos, lo que genera una barrera física altamente resistente y dificulta su descomposición. La proporción de estos biopolímeros, 1) celulosa, 2) hemicelulosa y 3) lignina, varían según la especie vegetal (Olakanmi y col., 2024). La celulosa y la hemicelulosa están formadas por azúcares que pueden ser degradadas por diferentes microorganismos para obtener carbono y energía, mientras que la lignina es más compleja y resistente a la degradación. Los materiales con altos contenidos de lignina (>15%) presentan una descomposición más lenta debido a la complejidad de su estructura química y solo ciertos hongos comestibles pueden degradarla eficientemente (Grimm & Wösten, 2018). Durante la colonización del sustrato, es decir, el proceso en el que el micelio se desarrolla y se extiende sobre el material, los hongos comestibles liberan enzimas extracelulares como lacasa, manganeso peroxidasa (MnP) y lignina peroxidasa (LiP). Estas enzimas actúan sobre los componentes lignocelulósicos insolubles, descomponiéndolos en compuestos más simples y solubles. Estos compuestos son tomados para la nutrición del

hongo por enzimas intracelulares. Las enzimas extracelulares participan activamente en la degradación del sustrato bajo condiciones de fermentación en estado sólido, facilitando la colonización del micelio y la aparición de los primordios que dan origen al cuerpo fructífero del hongo (Chanakya y col., 2015). Como resultado de esta actividad enzimática, los residuos orgánicos, que comúnmente son subutilizados, pueden transformarse en un sustrato eficiente para el cultivo tanto doméstico como comercial de hongos comestibles. Esto ha abierto nuevas posibilidades para aprovechar estos materiales como base en sistemas sostenibles de producción fúngica.

3. TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS EN HONGOS COMESTIBLES

Para la formulación del sustrato se emplea una mezcla de residuos orgánicos de cocina, como cártamo, chícharo, trigo y frijol, cascaras de frutas, mazorca de maíz, entre otros. En el proceso de transformación, el sustrato debe triturarse hasta alcanzar un tamaño de partícula entre 0.2 y 0.5 mm, lo que facilita su hidratación y colonización por el micelio. En el caso de la mazorca de maíz, se recomienda humedecerla un día antes de la mezcla debido a su menor capacidad de retención de agua. Posteriormente, se drena el exceso de humedad y los sustratos se ajustan a un contenido de agua cercano al 60-70% (Atila y col., 2018).

El proceso de pasteurización se realiza sumergiendo las bolsas con sustrato en agua a 75 °C durante un periodo de 90 a 120 minutos. Este

tratamiento térmico permite disminuir significativamente la carga microbiana presente, pero sin eliminar por completo los microorganismos beneficiosos como ocurre con la esterilización.

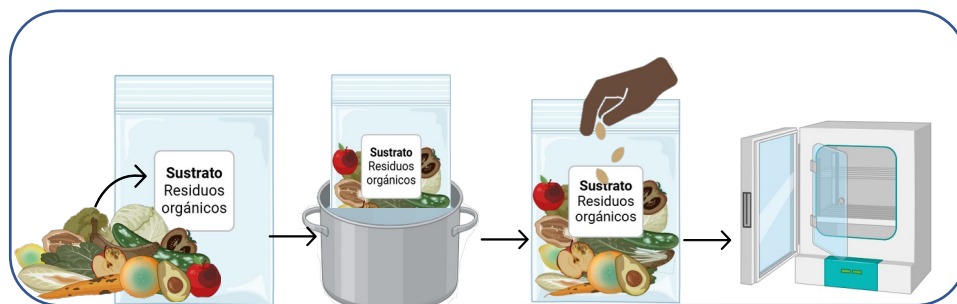


Figura 1. Inoculación.

Una vez enfriados a temperatura ambiente ($\approx 25^{\circ}\text{C}$), se procede a la inoculación con esporas o fragmentos de micelio (conocidos como spawn) de la especie fúngica de interés, como *Pleurotus ostreatus*, *Lentinula edodes*, *Agaricus bisporus* o *Hericium erinaceus*, en una proporción del 3% en peso húmedo del sustrato. En la fase de incubación, las bolsas son almacenadas bajo condiciones ambientales controladas, manteniéndose a una temperatura de $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa entre el 80 y el 85%. El tiempo requerido para la colonización del sustrato por el micelio oscila entre 10 y 29 días, dependiendo tanto de la especie de hongo cultivada como de las características del sustrato utilizado (Atila, 2019; Chanakya y col., 2015).



Figura 2. Preparación del sustrato.

Cuando la colonización se ha completado, las bolsas son llevadas a fructificación con temperatura controlada ($20\text{-}22^{\circ}\text{C}$), humedad relativa

del 80-90% y un fotoperíodo de 8 horas diarias de luz, para inducir la formación de primordios y cuerpos fructíferos (Du y col., 2021). El periodo de fructificación tiene una duración aproximada de 8 a 15 días. La cosecha debe llevarse a cabo cuando los cuerpos fructíferos alcanzan su punto óptimo de desarrollo morfológico, lo cual varía según la especie cultivada. Sin embargo, en la mayoría de los casos, este momento coincide con la apertura del sombrero, pero antes de que se produzca una liberación masiva de esporas. Después de cosechar, el sustrato es llevado a reposo durante 5 a 7 días, en esta etapa, se reduce la humedad por debajo del 70% para prevenir contaminaciones y permitir la recuperación del micelio antes de la siguiente producción (Xu y col., 2023).

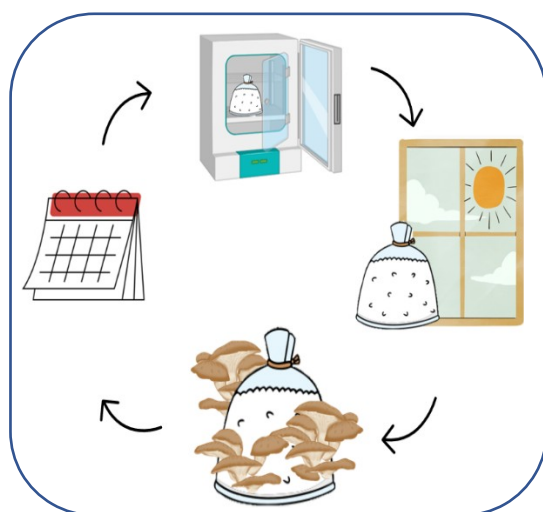


Figura 3. Fructificación.

4. BENEFICIOS NUTRACÉUTICOS DE LOS HONGOS COMESTIBLES

Los hongos comestibles han sido valorados por su equilibrada composición nutricional, son bajos en calorías, con alto contenido proteico, ricos en lípidos, minerales y vitaminas esenciales. En términos



de calidad proteica, su perfil de aminoácidos es comparable al de los alimentos de origen animal como los huevos, la leche e incluso la carne, posicionándolos como una excelente alternativa para dietas vegetarianas y veganas (Aswathy y col., 2024; De y col., 2023) Su contenido proteico varía entre el 10.5% y el 42% de su biomasa seca, según la especie y las condiciones de cultivo. Estudios recientes han cuantificado los niveles de proteína en diferentes especies, destacando: *Agaricus bisporus* (4.702 g/L), *Pleurotus ostreatus* (3.99 g/L), *Pleurotus eryngii* (1.91 g/L) y *Agaricus subrufescens* (0.612 g/L) (Hamza y col., 2023). Por otra parte, los carbohidratos presentes en los hongos representan entre el 50% y el 65% del peso seco, estando mayormente conformados por fibras dietéticas y polisacáridos estructurales como β -glucanos, quitina, hemicelulosas y pectina. Estos compuestos no solo aportan valor nutricional, sino que también han demostrado efectos beneficiosos en la salud intestinal, inmunológica y metabólica.

En el caso de los β -glucanos, especialmente los $\beta(1 \rightarrow 3)$ y $\beta(1 \rightarrow 6)$, activan receptores inmunitarios como dectina-1 y TLR-2 en macrófagos y células dendríticas, desencadenando una respuesta inmunológica innata y adaptativa, por lo que se le confieren propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, antiinflamatorias y anticancerígenas y se encuentran en especies como *Pleurotus ostreatus*, *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes* y *Ganoderma lucidum* (Basso y col., 2020; Chen y col., 2024). La quitina y el quitosano, presentes en la pared celular de los hongos, juegan un papel clave en la regulación de las funciones del riñón, el hígado y el tracto gastrointestinal. Estos compuestos actúan interactuando con células del sistema inmunitario, como macrófagos y células dendríticas, a través de receptores especializados llamados PRR (receptores de reconocimiento de patrones), como la dectina-1, lo que desencadena respuestas inmunológicas clave (Hamza y col., 2024). Además, los polisacáridos de los hongos tienen un alto potencial prebiótico, ya que aumentan la producción de ácidos grasos de cadena corta en el intestino y favorecen el crecimiento de bacterias beneficiosas como *Lactobacillus*, mientras reducen microorganismos patógenos como *Klebsiella* y *Escherichia coli* (Hamza y col., 2023).

Algunas especies de hongos son ampliamente utilizadas en la medicina tradicional china y han demostrado efectos positivos en diversas enfermedades, en el ámbito oncológico, por ejemplo, compuestos triterpenoides aislados de *Pleurotus eryngii* han demostrado eficacia contra células de cáncer de mama, mientras que polisacáridos de *Coriolus versicolor* han mostrado efectos citotóxicos en células de hepatoma humano, lo que refuerza su potencial en la quimio prevención del cáncer (Balakrishnan y col., 2023). Así mismo, dado el creciente problema de la resistencia bacteriana, los hongos han sido explorados como una fuente prometedora de nuevos antimicrobianos. Extractos de *Auricularia auricular-judae* han mostrado capacidad para inhibir el crecimiento de *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*. Asimismo, derivados del benzoato obtenidos de *Stereum hirsutum* han demostrado actividad antimicrobiana contra *Staphylococcus aureus* resistente a la metilicina, lo que destaca el potencial de los hongos en la búsqueda de nuevas terapias antibacterianas. Además de su valor nutricional, sus propiedades inmunomoduladoras, antioxidantes, anticancerígenas, antimicrobianas y prebióticas los posicionan como aliados clave en la prevención y tratamiento de diversas enfermedades. Su uso en la medicina tradicional y las evidencias científicas emergentes refuerzan su importancia no solo en la alimentación, sino también en la biotecnología y en la farmacotecnología (Khan y col., 2024; Tan y col., 2024).

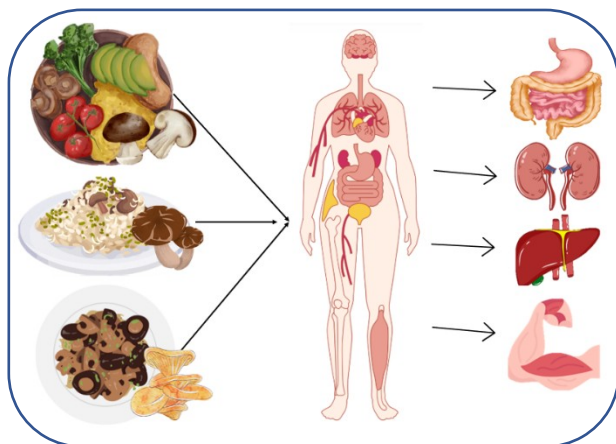


Figura 4. Beneficios de la ingesta de hongos.

5. CONCLUSIONES

El cultivo de hongos comestibles a partir de residuos orgánicos de cocina es una estrategia sostenible que convierte desechos en alimentos de alto valor nutricional y funcional. Esta práctica puede desarrollarse a nivel doméstico, comercial e industrial, optimizando el uso de recursos naturales, impulsando la economía circular, favoreciendo la autosuficiencia alimentaria y reduciendo el desperdicio mediante el aprovechamiento de recursos subutilizados. Además, promueve hábitos sostenibles en la producción y el consumo. Los hongos son una fuente rica en proteínas, minerales, vitaminas esenciales y compuestos bioactivos fundamentales para la salud inmunológica e intestinal, así como para la prevención de enfermedades crónicas. Su cultivo representa una solución innovadora con importantes beneficios ambientales, nutricionales y sociales. La investigación, el desarrollo de tecnologías accesibles y la educación ambiental son claves para expandir esta práctica. Al establecer metodologías de cultivo doméstico, los hongos comestibles pueden contribuir significativamente a la seguridad alimentaria, la sostenibilidad global y una alimentación más saludable y nutritiva.

REFERENCIAS

- Aswathy, S., Shyamalagowri, S., Hari, S., Kanimozhi, M., Meenambiga, S. S., Thenmozhi, M., Karthiyayini, R., Suresh, D., & Manjunathan, J. (2024). Comparative studies on the cultivation, yield, and nutritive value of an edible mushroom, *Pleurotus tuber-regium* (Rumph. ex Fr.) Singer, grown under different agro-ressidue substrates. *3 Biotech*, *14*(4): 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03968-x>
- Atila, F. (2019). Compositional changes in lignocellulosic content of some agro-ressidues during the production cycle of shiitake mushroom. *Scientia Horticulturae*, *245*: 263–268. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.10.029>

- Atila, F., Tuzel, Y., Fernández, J. A., Cano, A. F., & Sen, F. (2018). The effect of some agro-industrial residues on yield, nutritional characteristics and antioxidant activities of *Hericium erinaceus* isolates. *Scientia Horticulturae*, 238: 246–254. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.049>
- Balakrishnan, K., Nagarajan, S., Balakrishnan, G., Manickam, M., & Dharumadurai, D. (2023). Symbiotic microbial interactions in medicinal mushroom: an insight of phenotypic and genotypic characterization methods. *Microbial Symbionts: Functions and Molecular Interactions on Host*: 277–294. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99334-0.00044-X>
- Basso, V., Schiavenin, C., Mendonça, S., de Siqueira, F. G., Salvador, M., & Camassola, M. (2020). Chemical features and antioxidant profile by *Schizophyllum commune* produced on different agroindustrial residues and byproducts of biodiesel production. *Food Chemistry*, 329: 127089. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127089>
- Chanakya, H. N., Malayil, S., & Vijayalakshmi, C. (2015). Cultivation of *Pleurotus* spp. on a combination of anaerobically digested plant material and various agro-residues. *Energy for Sustainable Development*, 27: 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.ESD.2015.04.007>
- Chen, S. K., Liu, J. J., Wang, X., Luo, H., He, W. W., Song, X. X., Nie, S. P., & Yin, J. Y. (2024). *Hericium erinaceus* β -glucan/tannic acid hydrogels based on physical cross-linking and hydrogen bonding strategies for accelerating wound healing. *International Journal of Biological Macromolecules*, 279(P4), 135381. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.135381>
- De, A., Mridha, D., Roychowdhury, T., Bandyopadhyay, B., & Panja, A. S. (2023). Substrate level optimization for better yield of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) production, using different ratio of rice straw and sugarcane bagasse. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 39(10): 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11274-023-03714-0>
- Du, F., Qu, J., Hu, Q., Yuan, X., Yin, G., Wang, L., & Zou, Y. (2021). Maximizing the value of Korshinsk peashrub branches by the integration of *Pleurotus tuoliensis* cultivation and anaerobic digestion of spent mushroom substrate. *Renewable Energy*, 179: 679–686. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.07.053>
- Fayaazuddin, T., Prakash, P., Shakena Fathima, T., & Dhanasekaran, D. (2023). Commercial Astaxanthin Production from Green Alga *Haematococcus pluvialis*. Dhanasekaran, D. (Ed.), *Food Microbiology Based Entrepreneurship: Making Money From Microbes*. (pp. 255-270). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-5041-4_15

- Grimm, D., & Wösten, H. A. B. (2018). Mushroom cultivation in the circular economy. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 102(18): 7795–7803. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9226-8>
- Hamza, A., Ghanekar, S., & Santhosh Kumar, D. (2023). Current trends in health-promoting potential and biomaterial applications of edible mushrooms for human wellness. *Food Bioscience*, 51: 102290. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102290>
- Hamza, A., Mylarapu, A., Krishna, K. V., & Kumar, D. S. (2024). An insight into the nutritional and medicinal value of edible mushrooms: A natural treasury for human health. *Journal of Biotechnology*, 381: 86–99. <https://doi.org/10.1016/J.JBIOTECH.2023.12.014>
- Jahedi, A., Ahmadifar, S., & Mohammadigoltapeh, E. (2024). Revival of wild edible-medicinal mushroom (*Hericium erinaceus*) based on organic agro-industrial residue- achieving a commercial protocol with the highest yield; optimum reuse of organic residue. *Scientia Horticulturae*, 323, 112510. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.112510>
- Khan, A., Murad, W., Salahuddin, Ali, S., Shah, S. S., Halim, S. A., Khalid, A., Kashtoh, H., Khan, A., & Al-Harrasi, A. (2024). Contribution of mushroom farming to mitigating food scarcity: Current status, challenges and potential future prospects in Pakistan. *Heliyon*, 10(23): e40362. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40362>
- Mahish, P. K., Verma, D. K., Ghritlahare, A., Arora, C., & Otero, P. (2024). Microbial bioconversion of food residue to bio-fertilizers. *Sustainable Food Technology*, 2(3): 689–708. <https://doi.org/10.1039/d3fb00041a>
- Olakanmi, G. B., Lateef, S. A., & Ogunjobi, A. A. (2024). Utilization of disposable face masks for cultivation of *Pleurotus ostreatus* mushroom as a strategy for reducing environmental plastic pollution. *Journal of Material Cycles and Residue Management*, 26(1): 578–590. <https://doi.org/10.1007/s10163-023-01859-6>
- Soong, W. S., Chew, J., & Gew, L. T. (2024). Insights of bacterial communities in kitchen and agricultural residue composts for environmental sustainability: a systematic review. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 22(3): 2073–2094. <https://doi.org/10.1007/s13762-024-05898-w>
- Tan, R. Y., Ilham, Z., Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I., Abdul Halim-Lim, S., Ahmad Usuldin, S. R., Ahmad, R., & Adlim, M. (2024). Mushroom oils: A review of their production, composition, and potential applications. *Heliyon*, 10(11): e31594. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31594>
- Xu, A., Yang, D., Jacob, M. S., Qian, K., Yang, X., Zhang, B., & Li, X. (2023). Comprehensive

evaluation of agronomic traits and mineral elements of *Auricularia heimuer* cultivated on corncob substrates. *Scientia Horticulturae*, 314: 111942. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111942>

Zhang, L., Fan, R., Li, W., Li, G., Luo, W., & Xu, Z. (2025). Unravelling biotic and abiotic mechanisms of mature compost to alleviate gaseous emissions in kitchen residue composting by metagenomic analysis. *Bioresource Technology*, 419: 132102. <https://doi.org/10.1016/j.bi>

HEMICOREA SECUNDARIA A HIPERGLUCEMIA NO CETÓSICA. REPORTE DE CASO

NON-KETONIC HYPERGLYCEMIC HEMICHOREA. A CASE REPORT

JORGE ALBERTO RÍOS DUARTE¹

MARÍA TERESA NAVA MUÑOZ¹

ALEJANDRA SÁNCHEZ SANTOS²

EVA ABIGAIL GALINDO CALVILLO³

RESUMEN

Se presenta el caso de un paciente masculino de 77 años, sin diagnóstico previo de diabetes mellitus tipo 2, que acudió con debilidad progresiva en miembros pélvicos y movimientos involuntarios en la extremidad superior izquierda. Se documentó hiperglicemia severa (glucosa sérica de 773 mg/dL) sin cetosis, acompañada de lesiones inespecíficas en los ganglios basales derechos evidenciadas por resonancia magnética cerebral. El cuadro neurológico se resolvió tras el inicio de hidratación parenteral con solución salina, corrección de potasio e insulino terapia según el esquema de Cleveland, con posterior transición a insulino terapia basal ajustada a sus necesidades. Este caso resalta una manifestación neurológica infrecuente de hiperglicemia no cetósica, especialmente en pacientes sin diagnóstico previo de diabetes, lo que subraya la importancia de considerar alteraciones metabólicas en el abordaje diferencial de síntomas motores agudos.

Palabras clave: corea; hiperglucemia; diabetes; ataxia; discinesia.

1. Facultad de Medicina, Unidad Sureste, UAdeC.
2. Hospital Universitario de Saltillo.
3. Hospital Universitario "Dr. José Eleuterio González", Universidad Autónoma de Nuevo León.

Correspondencia
riosjorge@uadec.edu.mx

ABSTRACT

We present the case of a 77-year-old male patient with no prior diagnosis of type 2 diabetes mellitus, who presented with progressive weakness in the lower limbs and involuntary movements of the left upper extremity. Severe hyperglycemia was documented (serum glucose level of 773 mg/dL) without

ketosis, accompanied by nonspecific lesions in the right basal ganglia identified on brain magnetic resonance imaging. The neurological symptoms resolved following the initiation of parenteral hydration with saline solution, potassium correction, and insulin therapy according to the Cleveland protocol, followed by a transition to basal insulin therapy adjusted to the patient's needs. This case highlights a rare neurological manifestation of nonketotic hyperglycemia, particularly in patients without a prior diabetes diagnosis, underscoring the importance of considering metabolic disturbances in the differential diagnosis of acute motor symptoms.

Fecha de recepción
7 de noviembre de 2024.

Fecha de aceptación
14 de mayo de 2025.

Keywords: *chorea; hyperglycemia; diabetes; ataxia; dyskinesia.*

INTRODUCCIÓN

La diabetes mellitus es un grupo de trastornos del metabolismo de los carbohidratos en los que la glucosa se subutiliza como fuente de energía y se produce en exceso debido a una gluconeogénesis y glucogenólisis inadecuadas, lo que resulta en hiperglucemia. La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) es debida a una pérdida progresiva no autoinmune de la secreción adecuada de insulina por parte de las células β (ADA, 2024). Es de etiología multifactorial, se caracteriza por hiperglicemia crónica, resistencia a la insulina y un defecto en la secreción de insulina. La prevalencia de DM 2 está aumentando a nivel mundial, en gran parte debido al incremento de la obesidad y a la alta frecuencia de sedentarismo en la población. Los factores exactos que conducen al desarrollo de la resistencia a la insulina y la disfunción final de la célula β pancreática no se han aclarado plenamente. La evidencia actual se ha enfocado en cuatro grandes polos de investigación: a) resistencia a la insulina e inflamación; b) gluco-lipotoxicidad y disfunción de la célula β ; c) disfunción mitocondrial; d) plasticidad celular y memoria metabólica (Pérez, 2009). Además, es acompañada por trastornos del metabolismo de grasas y proteínas (Lara y col., 2017).

De acuerdo con la American Diabetes Association (ADA) el diagnóstico de diabetes mellitus tipo 2 se establece al obtener un valor de hemoglobina glicosilada $\geq 6,5\%$ (≥ 48 mmol/mol), glucosa plasmática en ayuno ≥ 126 mg/dl ($\geq 7,0$ mmol/l), ≥ 200 mg/dl ($\geq 11,1$ mmol/l) durante la prueba de tolerancia oral a la glucosa (75 g) de 2 horas; o en un individuo con síntomas clásicos de hiperglucemia o crisis hiperglucémica, una glucemia plasmática aleatoria ≥ 200 mg/dl ($\geq 11,1$ mmol/l) (ADA, 2024).

La hiperglicemia no cetósica es una de sus complicaciones y puede estar asociada a varios trastornos neurológicos, incluyendo delirio, crisis convulsivas generalizadas y parciales, déficits neurológicos focales: hipoestesia, hemianopsia, afasia, nistagmus y desviación tónica oftálmica (Playas y col., 2001) y en ciertas ocasiones síndromes coreicos y balismo.

El síndrome de hemicorea-hemibalismo debido a hiperglucemia no cetósica es la segunda causa más frecuente de hemicorea-hemibalismo, siendo la primera la de origen vascular (Bathla y col., 2014). La corea es un trastorno del movimiento hipercinético caracterizado por contracciones rápidas e impredecibles que afectan principalmente a las extremidades distales, pero también a la cara y el tronco. Los movimientos son involuntarios y sin patrón, con velocidad, sincronización y dirección variables, fluyendo de una parte del cuerpo a otra y dando, en casos menos graves, una apariencia de inquietud. La aleatoriedad y la fluidez de la corea es una característica que la distingue del temblor y la distonía (Cardoso y col., 2006).

PRESENTACIÓN DEL CASO

Masculino de 77 años, no conocido con antecedente de diabetes mellitus tipo 2, como antecedentes; hipertensión arterial sistémica diagnosticada hace 7 años en tratamiento, hiperplasia prostática benigna diagnosticada en 2017, con resección transuretral de la próstata, injerto

fallido de piel en tercer y cuarto dedo derechos por evento traumático en 1970, pérdida ponderal de 4 kg en 2 semanas. Con tratamiento previo a expensas de losartán/hi-droclorotiazida 50 mg/25 mg, amlodipino 5 mg y eritropoyetina 4000 UI cada tercer día. Acude al servicio de urgencias debido a debilidad en miembros pélvicos que dificultan la deambulaci3n de manera progresiva con 3 semanas de evoluci3n, adem1s de presentar poliuria, polidipsia, xerostomía y sensaci3n de sabor amargo con tiempo de evoluci3n no especificado. Refiere movimientos esp1sticos de extremidad superior izquierda, caracterizados por contracci3n brusca seguida de relajaci3n que se exacerban al movimiento activo (Figura 1), acompa1ados de dolor en la misma extremidad 5/10 en escala numérica an1loga (ENA) de cuatro días de evoluci3n.



Se realizan paraclínicos encontrando: HbA1c: 12.6% y Glu 773 mg/dL, por lo que tratante indica ingreso a sala de medicina interna en Hospital Universitario de Saltillo. A su arribo presenta escala de coma de Glasgow de 15 puntos, presentando corea de las

características previamente mencionadas en extremidad superior izquierda y bradilalia, pupilas isoc3ricas hiporre-flectivas, movimientos oculares sin alteraciones, reflejos osteotendinosos (ROT's) 2/4 en extremidades inferiores y superior derecha, extremidad superior izquierda con ROT's 4/4, fuerza muscular 3/5 en miembro superior izquierdo, resto de extremidades con fuerza 5/5, Babinski y resto de suced1neos negativos en ambas extremidades, Hoffman y Tromner positivos en extremidad superior izquierda.

Se solicitan estudios paraclínicos en los que se encuentra HbA1c 12.6%, Na 130 (141) mmol/L, K 4.5 mmol/L, Cl 90 mmol/L, glucosa sérica 773 mg/dL, BUN 48 mg/dL, urea 102.72 mg/dL, creatinina 3.14 mg/dL, 1cido

Figura 1. C3digo QR para video de trastorno coreico en miembro superior izquierdo



úrico 9.0 mg/dL, colesterol LDL 114 mg/dL, osmolaridad sérica efectiva 302.94 mOsm/kg, tasa de filtrado glomerular 18.1 ml/min/1.73 m²; examen general de orina se reporta amarillo, claro, densidad urinaria 1.005, ph 6, proteína (-), glucosa >1000mg/dL, cetonas (-), bilirrubina (-), sangre aprox. 25 hem/ul, Nitritos (-), urobilinógeno 0.2; leucocitos 3/campo, eritrocitos 1/campo, cristales (-), células epiteliales escasas, bacterias (-), cilindros (-), filamentos de moco (-), levaduras (-).

En cuanto estudios de gabinete se realiza resonancia magnética nuclear de encéfalo en donde se observa; leve ectasia del sistema ventricular e imágenes hiperintensas de la sustancia blanca profunda visibles únicamente en las secuencias T2 y flair, que puede corresponder con enfermedad de pequeños vasos, zonas hipointensas en núcleos lenticulares derechos en secuencia T1 y lesión hiperintensa en ganglios basales derechos (Figura 2).

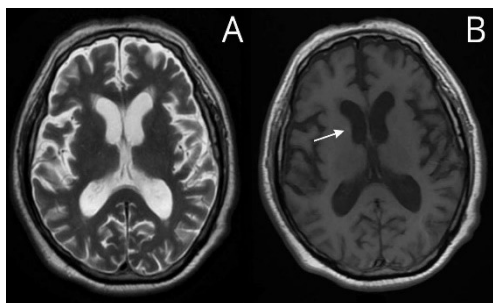


Figura 2. A. Corte transversal de resonancia magnética en secuencia T2. B. Corte transversal con hiperintensidad en ganglios basales derechos (flecha blanca) en secuencia T1.

Por lo anterior se integra diagnósticos: diabetes mellitus tipo 2 (glucosa sérica: 773 mg/dL y HBA1c: 12.6%), coreoatetosis asociada al estado hiperglucémico (resolución del cuadro posterior a lograr control metabólico), lesión renal crónica agudizada (tasa de filtrado glomerular 18.1 ml/min/1.73 m² y creatinina sérica de 3.14 mg/dL), hipertensión arterial sistémica e hiperplasia prostática benigna (antecedentes personales patológicos).

TRATAMIENTO

Se inicia tratamiento con plan de hidratación parenteral a expensas de solución salina al 0.9 % añadiendo un ampolla de 20 mEq de cloruro de potasio (KCL) a la infusión, e insulino terapia con protocolo de Cleveland y posterior transición a insulino terapia basal. Descartando previamente patología vascular aguda a nivel cerebral.

EVOLUCIÓN

Durante la estancia intrahospitalaria presenta remisión del cuadro de corea, normalización de niveles de glicemia, disminución de niveles séricos de azoados y aunado a índices urinarios dentro de metas con el tratamiento instaurado. Hemodinámicamente estable, se decide el egreso del paciente con esquema de insulina basal, con sitagliptina, monitoreo glucémico, tratamiento antihipertensivo con losartán, continuar con tamsulosina, alfa cetanoálogos y eritropoyetina, con posterior ajuste de insulino terapia basal por la consulta.

PRONÓSTICO

En cuanto al estado neurológico con pronóstico favorable, al remitir el cuadro hiperkinético posterior a la resolución del trastorno hiperglucémico por las intervenciones terapéuticas realizadas. Según diversos autores se ha descrito persistencia de la sintomatología neurológica en 15-20 % de los pacientes, continuando incluso hasta por cinco años posteriores al primer evento a pesar de la corrección de la glucemia, o recurrencia de la aparición del síndrome relacionado con el

mal control glucémico (Gonzalez y col., 2018). No obstante, el paciente presenta daño microvascular, evidenciado a nivel de sistema nervioso central y a nivel renal, secundario a los trastornos metabólicos no diagnosticados previamente, siendo su pronóstico general ligado al control subsecuente de sus enfermedades crónico degenerativas y al apego al tratamiento.

DISCUSIÓN

La fisiopatología de la hiperglucemia en la hemicorea no está bien establecida. Se cree que los niveles elevados de glucosa en el plasma se correlacionan directamente con la hipoperfusión cerebral, demostrable con resonancia magnética de encéfalo como zonas isquémicas en núcleos basales causando la activación del metabolismo anaeróbico y el agotamiento de ácido gamma-aminobutírico (GABA) en las neuronas de los ganglios basales (Gijón y col., 2016). Se han reportado casos de trastornos agudos del movimiento asociados a lesiones hipointensas de los ganglios basales bilaterales en pacientes con diabetes con enfermedad renal crónica encontrando dichos cambios image-nológicos en la secuencia de T1 en la resonancia magnética (RM) y una alta intensidad de señal en las imágenes ponderadas en T2 (Kuppachi y col., 2013).

Actualmente no existe un tratamiento diana para estos síndromes, siendo el manejo de primera línea la corrección de los trastornos metabólicos. Una revisión de casos reporta la regresión de las lesiones de ganglios basales de manera completa o parcial en 83 % de los casos en controles de neuroimagen a los 2 meses (Lee y col., 2006).

CONCLUSIONES

En la actualidad la diabetes mellitus tipo 2 es un problema de salud global, con aumento en su incidencia, así como su desarrollo en edades

más tempranas. De ahí deviene la importancia en educación temprana sobre el tema, el control de factores de riesgo asociados, así como la importancia de la realización de tamizaje en primer nivel de atención. En la presentación de síndromes neurológicos es importante tomar en cuenta los trastornos metabólicos de base, como alteraciones hidroelectrolíticas, síndromes urémicos y alteraciones en la glicemia, debido a la amplia gama de presentaciones asociadas a estos. Siempre descartando eventos vasculares agudos y patologías orgánicas del SNC.

La anamnesis, la exploración física con un completo examen neurológico, así como los estudios de laboratorio y gabinete son fundamentales para orientar el diagnóstico.

REFERENCIAS

- American Diabetes Association Professional Practice Committee. (2024). Diagnosis and classification of diabetes: Standards of care in diabetes—2024. *Diabetes Care*, 47 (1): S20-S42. <https://doi.org/10.2337/dc24-S002>
- Bathla, G., Policeni, B., Agarwal, A. (2014). Neuroimagen en pacientes con niveles anormales de glucosa en sangre. *Revista Estadounidense de Neurorradiología*, 35 (5): 833-840. DOI:10.3174/ajnr.A3486
- Cai, L., & Tan, X. (2022). Hemichorea in a woman with diabetes mellitus. *Canadian Medical Association Journal*, 194 (23): 812. <https://doi.org/10.1503/cmaj.211367>
- Cardoso, F., Seppi, K., Mair, K. J., Wenning, G. K., & Poewe, W. (2006). Seminar on choreas. *The Lancet Neurology*, 5 (7): 589-602. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(06\)70494-x](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(06)70494-x)
- Chua, C., Sun, C., Hsu, C., Tai, Y., Liang, C., & Tsai, I. (2020). "Diabetic striatopathy": Clinical presentations, controversy, pathogenesis, treatments, and outcomes. *Scientific Reports*, 10 (1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-58555-w>
- Gijón, L. R., Fernández, I. P., Orejas, A. R., Aguilera, B. M., & Contreras, C. U. (2016). Hemicorea-hemibalismo como debut de diabetes mellitus tipo 2: Hallazgos en tomografía computada y resonancia magnética. *Revista Argentina de Radiología / Argentinian Journal of Radiology*, 80 (4): 289-292. <https://doi.org/10.>

1016/j.rard.2016.05.002

- González, P., Ramírez-Botero, C., Cadavid, C. M., & Aguirre, H. D. (2018). Síndrome de corea hiperglicemia y ganglios basales. *CES Medicina*, 32 (3): 286-293. <https://doi.org/10.21615/cesmedicina.32.3.10>
- Kuppachi, S., Lwin, L., Yoo, J., & Suneja, M. (2013). Bilateral basal ganglia lesions in end-stage kidney disease presenting as acute chorea. *Clinical Kidney Journal*, 6 (4): 450-451. <https://doi.org/10.1093/ckj/sft073>
- Lee, P. H., Shin, D. H., Kim, J. W., Song, Y. S., & Kim, H. S. (2006). Parkinsonism with basal ganglia lesions in a patient with uremia: Evidence of vasogenic edema. *Parkinsonism & Related Disorders*, 12 (2): 93-96. <https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2005.07.009>
- O'Farrill, L. C. L., Fernández, L. A. O., & De Santelices Cuervo, A. M. (2017). Interacción genoma-ambiente en la génesis de la diabetes mellitus tipo 2. *Acta Médica del Centro*, 11 (4). <https://revactamedicacentro.sld.cu/index.php/amc/article/view/867/1099>
- Pérez, F. B. (2009). Epidemiología y fisiopatología de la diabetes mellitus tipo 2. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 20 (5): 565-571. <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-epidemiologia-fisiopatologia-diabetes-mellitus-tipo-X0716864009322743>
- Playas, G. P., López, M. R., Ramos, R. R., & Espinoza, C. C. (s. f.). Coreoatetosis y balismo como primera manifestación de hiperglucemia no cetósica. *Revista Mexicana de Neurociencia*, 2(3):162-163. <https://previous.revmexneurociencia.com/articulo/coreoatetosis-balismo-como-primeramanifestacion-de-hiperglucemia-cetosica/>
- Postuma, R. B., & Lang, A. E. (2003). Hemiballism: Revisiting a classic disorder. *The Lancet Neurology*, 2 (11): 661-668. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(03\)00554-4](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(03)00554-4)
- Rodríguez, L., Pinilla, I., Royo, A., Marín, B., Utrilla, C. (2016). Hemicorea-hemibalismo como debut de diabetes mellitus tipo 2: hallazgos en tomografía computada y resonancia magnética. *Revista Argentina de Radiología*, 80 (4): 289-292. DOI: 10.1016/j.rard.2016.05.002

NANOESTRUCTURAS DE PELÍCULAS DELGADAS DE CUO/ZNO Y SU APLICACIÓN EN LA ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA, UNA REVISIÓN

CUO/ZNO THIN FILM NANOSTRUCTURES AND THEIR APPLICATION IN PHOTOCATALYTIC ACTIVITY, A REVIEW

GERARDO RODRÍGUEZ JIMÉNEZ¹

VÍCTOR HUGO MARTÍNEZ LANDEROS¹

LÁZARO ABDIEL FALCÓN FRANCO¹

LUIS ALFONSO GRACÍA CERDA²

RESUMEN

Las películas delgadas de óxidos de cobre (CuO) y óxido de zinc (ZnO) han captado una atención significativa en el ámbito de la investigación científica, principalmente por su notable eficiencia fotocatalítica en la degradación de contaminantes orgánicos cuando son sometidas a irradiación de luz. Este interés se debe a la creciente necesidad de encontrar soluciones efectivas para la purificación ambiental y la eliminación de desechos tóxicos. Entre los diversos métodos de síntesis utilizados para la deposición de estas películas delgadas, se destacan tanto técnicas químicas como físicas, cada una con sus propias ventajas y aplicaciones. Esta revisión se centra en los avances recientes en la síntesis de películas delgadas de CuO/ZnO, tanto de manera individual como en forma de heteroestructura, abordando factores clave que influyen en la fotodegradación como el pH, concentraciones del material y del contaminante, además de los resultados obtenidos en términos de actividad fotocatalítica. De igual manera, se ve la importancia de el espesor de las películas delgadas y su captación con el colorante, todo esto para optimizar las propiedades de las películas delgadas. Además, se discute sobre el uso de las heteroestructuras como fotocatalizadores al tener un comportamiento diferente en cuanto a sus propiedades eléctricas debido a un cambio energético propio de la heteroestructura, y sobre su alta eficiencia fotocatalítica al dar porcentajes altos de remoción de colorantes en pruebas de fotodegradación. En conjunto,

1. Facultad de Metalurgia, Unidad Norte, UAdeC.
2. Centro de Investigación en Química Aplicada, Saltillo, Coah.

Correspondencia
vmartinezlanderos@uadec.edu.m
x
<https://orcid.org/0000-0001-5881-4048>



CienciAcierta

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
14 de mayo de 2025.

esta revisión proporciona una perspectiva amplia sobre el potencial de los óxidos de cobre y zinc en el desarrollo de materiales fotocatalíticos eficaces para la degradación de contaminantes.

Palabras clave: fotocatalizador; semiconductor; óxido de zinc; óxido de cobre; ancho de banda.

ABSTRACT

Thin films of copper oxides (CuO) and zinc oxide (ZnO) have garnered significant attention in scientific research, primarily due to their remarkable photocatalytic efficiency in the degradation of organic pollutants under light irradiation. This interest stems from the growing need to find effective solutions for environmental purification and the elimination of toxic waste. Among the various synthesis methods used for the deposition of these thin films, both chemical and physical techniques stand out, each with their own advantages and applications. This review focuses on recent advances in the synthesis of CuO/ZnO thin films, both individually and as heterostructures, addressing key factors influencing photodegradation, such as pH, material and pollutant concentrations, and the resulting photocatalytic activity. Additionally, it highlights the importance of thin film thickness and dye adsorption, all aimed at optimizing the properties of these films. Furthermore, the use of heterostructures as photocatalysts is discussed, considering their distinct electrical properties due to energy shifts inherent to the heterostructure, as well as their high photocatalytic efficiency, demonstrated by high dye removal percentages in photodegradation tests. Overall, this review provides a broad perspective on the potential of copper and zinc oxides in the development of efficient photocatalytic materials for pollutant degradation.

Keywords: photocatalyst; semiconductor; zinc oxide; copper oxide; bandgap.

1. INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, el crecimiento del sector industrial, así como del sector urbano, ha ido aumentando de forma exponencial, lo que ha provocado un aumento de la contaminación del agua. En consecuencia, el tratamiento de esta contaminación representa un reto importante para la comunidad científica (Raizada y col., 2019).

En la actualidad, la recuperación y reutilización del agua han mostrado una mayor relevancia en todo el mundo, esto a causa de su escasez derivada del cambio climático y a una gestión inadecuada de su suministro. Esto incluye un limitado acceso sobre fuentes de agua limpia además de una demanda que supera los recursos disponibles. En una economía mundial, donde la población es cada vez más numerosa, el acceso a este recurso está convirtiéndose en un desafío cada vez más crítico.

Existen diferentes técnicas de tratamiento de aguas para eliminar los contaminantes presentes como la adsorción, la separación por membranas y la coagulación, sin embargo, estos métodos consisten en concentrar o pasar a fase sólida los contaminantes orgánicos presentes en el agua, implicando posteriormente su recolección. Por esta razón, actualmente se proponen procesos de oxidación avanzada (POAs) para la remoción y degradación de estos contaminantes, estos procesos son la fotocatalisis homogénea y heterogénea (Ong y col., 2018).

En este tipo de aplicaciones, es necesario evaluar el tipo de estructura nanométrica o micrométrica del fotocatalizador a utilizar, específicamente, el uso de películas delgadas como material nanoestructurado proporciona una mayor eficiencia en comparación con otras nanoestructuras como los nanotubos (Nazar Elamin y Ammar Elsanousi, 2013).

Las películas delgadas de óxidos metálicos son recubrimientos que poseen propiedades eléctricas y ópticas, las cuales denotan relevancia al ser materiales semiconductores. A partir de cambios en su morfología,



su composición química, etc., se pueden modificar sus características ópticas y eléctricas para su aplicación en sensores de gases, ensayos fotocatalíticos, recubrimientos, etc. (Amakali y col., 2020). Las películas delgadas, al estar formadas por óxidos metálicos semiconductores son fotocatalizadores que se usan en diferentes procesos químicos tal como se aprecia en la Figura 1.

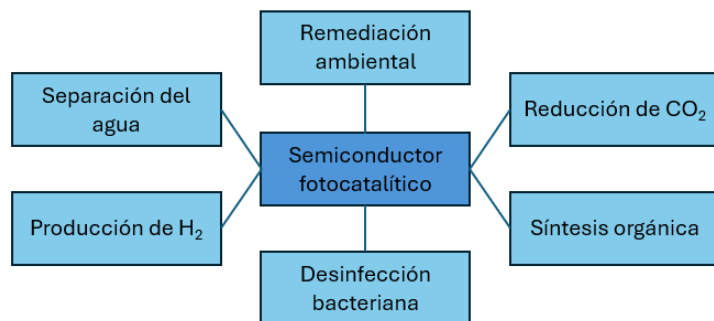


Figura. 1. Aplicaciones de semiconductores como fotocatalizadores. (Imagen adaptada de Pedanekar y col. 2020)

2. PELÍCULAS DELGADAS

Las películas delgadas son estructuras bidimensionales con un espesor que varía entre algunos nanómetros o unos pocos micrómetros. Algunas estructuras que pueden formarse son nanopartículas, nanovarillas, nanotubos, entre otros. Las propiedades que manifiestan las películas delgadas están directamente relacionadas a su composición química y las condiciones y métodos de deposición utilizados (Pedanekar y col., 2020).

Existen varios métodos de deposición para la síntesis de películas delgadas, dependiendo del material a depositar y la aplicación se podrá utilizar un método específico (Abegunde y col., 2019). Estos métodos de deposición se clasifican en métodos químicos y físicos (Figura 2).



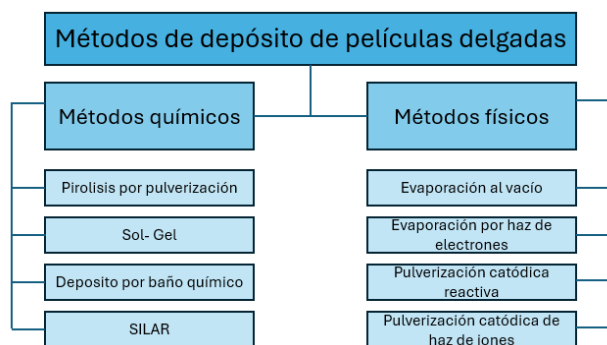


Figura. 2. Métodos de depósito de películas delgadas.

2.1 PROPIEDADES ÓPTICAS Y ELÉCTRICAS DE LAS PELÍCULAS DELGADAS

Teniendo como principio la teoría de bandas, los conductores no necesitan de un estímulo para que los electrones de la capa de valencia salten a la capa de conducción, los aislantes tienen una gran brecha energética entre la banda de valencia y de conducción impidiendo el flujo de electrones, los semiconductores manifiestan un espaciamiento energético entre ambas bandas denominado bandgap (3.37 eV y 1.2 eV en el caso del ZnO y CuO, respectivamente), permitiendo la conducción eléctrica. Asimismo, como propiedades ópticas destacan la capacidad de absorbanza y transmitancia ante luz ultravioleta y visible, las cuales tiene gran relevancia en aplicaciones donde los semiconductores funcionan como materiales fotocatalizadores al absorber luz para la degradación de agentes contaminantes (Xia y col., 2016).

3. FOTOCATÁLISIS

La fotocatalisis es un proceso en el que, utilizando materiales semiconductores, se acelera una reacción de fotodegradación de contaminantes tanto orgánicos como inorgánicos. Estos materiales

semiconductores se denominan fotocatalizadores y pueden ser óxidos metálicos, entre los cuales destacan el óxido de titanio (TiO_2), el óxido de zinc (ZnO), el óxido de cobre II (CuO), el óxido de estaño (SnO_2), entre otros (Danish y col., 2021).

El principio de la fotocatalisis involucra la producción de radicales hidroxilos (OH^\cdot) y aniones superóxido ($\text{O}_2^\cdot^-$). De los dos, el (OH^\cdot) muestra un alto potencial de oxidación, es por ello por lo que funge a manera de especie oxidante mayoritaria, sin embargo, el (OH^\cdot) y el $\text{O}_2^\cdot^-$ operan como oxidantes que tienen la tarea de degradar compuestos orgánicos. Posterior a la formación de estos radicales y aniones, se produce CO_2 y H_2O a partir del contaminante orgánico tratado, estos son menos dañinos, debido a la reacción fotoquímica como se muestra en la Figura 3. (Pedanekar y col., 2020), en la cual se aprecia el proceso que se lleva a cabo en la fotodegradación de contaminantes.

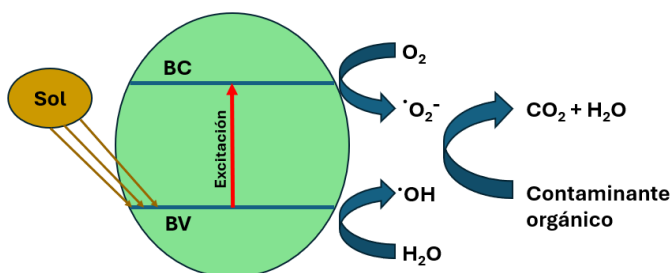


Figura 3. Mecanismo de fotodegradación de contaminantes. (Adaptado de Pedanekar y col 2020).

4. ÓXIDO DE ZINC

El óxido de zinc es uno de los materiales semiconductores más utilizados en la actualidad debido a su versatilidad de propiedades físicas y químicas que pueden cambiarse por efecto de la temperatura, estructura y morfología. Entre sus aplicaciones actuales se pueden mencionar como sensores de gas, diodos emisores de luz UV, celdas solares, entre otras (Raha y Ahmaruzzaman, 2022).



4.1 APLICACIONES FOTOCATALÍTICAS DEL ÓXIDO DE ZINC (ZNO)

El óxido de zinc es un semiconductor extrínseco tipo n del grupo II-VI, este material tiene una banda de energía prohibida (band gap) de 3.37 eV. Además, puesto que existe una diferencia considerable de electronegatividad entre el oxígeno y el zinc, el oxígeno genera altos niveles de ionicidad dentro del enlace y, asimismo, esto causa una mayor repulsión entre las nubes de carga electrónica, quedando los átomos lo suficientemente alejados para compensar dicha repulsión y formando una estructura cristalina hexagonal tipo wurzita. Por esto, y debido a alta estabilidad química, no toxicidad y altos rendimientos cuánticos es considerado como un candidato eficiente como fotocatalizador (Xia y col., 2016).

Tabla 1. Investigaciones sobre fotocátalisis utilizando ZnO para degradar contaminantes orgánicos

Material	Contaminante	Resultado	Autor
ZnO	Azul de metileno	Remoción de más del 60% del contaminante en un tiempo de 540 minutos	(Kulis-Kapuscinska y col., 2023)
ZnO	Azul de metileno	Remoción de contaminante entre el 60 y 80% en un plazo de 120 minutos	(Wojtasik y col., 2023)
ZnO, ZnO-Al	Azul de metileno	Remoción del contaminante del 60 % en el caso del ZnO y del 80% en caso del ZnO dopado con Al, ambos en 380 minutos	(Islam y col., 2019)
ZnO	Naranja de metilo	Remoción del contaminante desde un 73 a 88% en 180 minutos	(Lv y col., 2011)

En la Tabla 1 se muestra como el uso del óxido de zinc ha ganado relevancia en estos últimos años para la remoción de contaminantes orgánicos, este material fotocatalizador puede utilizarse de manera individual o en forma de heteroestructuras.



5. ÓXIDOS DE COBRE (CuO)

Los óxidos de cobre, ya sea en su forma de óxido cuproso (Cu_2O) u óxido cúprico (CuO), es otro material semiconductor que ha ido ganando interés en los últimos años, tanto en el sector industrial como en la comunidad científica. Esto se debe a su costo asequible y a sus propiedades fotoelectrónicas, fotoquímicas y termosolares, entre otras, que resultan de gran interés (López y Scarioni, 2016).

5.1. APLICACIONES FOTOCATALÍTICAS DE ÓXIDOS DE COBRE

Los óxidos de cobre presentan una amplia gama de aplicaciones, entre las que se pueden mencionar están la catálisis heterogénea, los sensores de gases, las celdas electroquímicas, los dispositivos electrónicos como la unión p-n de los diodos, etc. El óxido de cobre al ser un semiconductor de tipo p y tener una banda prohibida (bandgap) entre 1.21 y 2.1 eV para el CuO y CuO_2 , respectivamente (Tounsi y col., 2015), lo convierte en un buen candidato para la aplicación de fotodegradación de contaminantes orgánicos debido a la poca energía que necesita para promover la reacción necesaria en la fotocatalisis.

En la Tabla 2 se aprecia que en los años recientes el uso del óxido de cobre II como fotocatalizador para la remoción de diversos contaminantes orgánicos ha ganado un gran auge, en algunos casos se logra la degradación completa del contaminante.

Tabla 2. Investigaciones sobre fotocatalisis utilizando CuO para degradar contaminantes orgánicos

Material	Contaminante	Resultado	Autor
----------	--------------	-----------	-------



CuO-Ag	Naranja II	Remoción del contaminante 50% en 5 horas	(Madiha y col., 2023)
CuO	Azul de metileno	Remoción del contaminante cerca del 100% en 200 minutos	(Katal y col., 2020)
CuO	Azul de metileno	Remoción del contaminante 90% en 90 minutos	(Singh y col., 2020)
CuO	Azul de metileno	Remoción del contaminante 88% en 120 minutos	(Sahu y col., 2019)

6. HETEROUNIONES Y SU ACTIVIDAD FOTOCATALÍTICA

Una heterounión se define como la interfase entre dos semiconductores diferentes que tiene una estructura de bandas desigual y puede dar lugar a una alineación entre estas bandas (Low y col., 2017). Actualmente las heteroestructuras se han vuelto muy interesantes debido a su gran capacidad de rendimiento y eficacia en la degradación de contaminantes, ya que al trabajar con heteroestructuras el espaciamiento entre bandas de conducción y valencia tiende a estrecharse, por lo cual el flujo de electrones entre dichas bandas es mayor y se requiere menos energía para que los electrones pasen de una banda a otra, al contrario de los materiales por separado como en el caso de heteroestructuras de CuO/ZnO (Pal y col., n.d.).

En la Tabla 3 se observa que en años recientes la implementación de heteroestructuras como fotocatalizadores es un tópico novedoso e innovador debido a la completa remoción de colorantes para pruebas de fotodegradación.



Tabla 3. Investigaciones sobre fotocatalisis utilizando heteroestructuras de CuO/ZnO para degradar contaminantes orgánicos

Material	Contaminante	Resultado	Autor
CuO/ZnO	Colorante acriflavina	Remoción completa en 330 minutos	(Allawi y col., 2024)
CuO/ZnO	Azul de metileno	Remoción completa del contaminante en 80 minutos	(Oliveira y col., 2020)
CuO/ZnO	Azul de metileno	Remoción del 84% del contaminante en 120 minutos	(Xu y col., 2019)
CuO/ZnO	Azul de metileno	Remoción del 90% del contaminante en 60 minutos	(Liu y col., 2008)

7. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOCATÁLISIS

7.1. ESPESOR DE LA PELÍCULA DELGADA

El espesor de las películas delgadas de óxidos metálicos es un punto crucial para la fotodegradación, varios autores afirman que los espesores delgados no favorecen a la fotodegradación y que espesores gruesos favorecen la absorción de luz hasta cierto punto, para el caso de películas delgadas de óxido de titanio (TiO₂) con siete capas, se observó una saturación del óxido (Bensouici y col., 2015), de igual manera Kaneva y col., 2015 mencionan la relevancia del espesor, en el caso de óxido de zinc (ZnO), una película de una capa presentó menor eficiencia fotocatalítica en comparación con una con siete capas que tuvo la mejor eficiencia.

7.2. PH EN LA SÍNTESIS DE PELÍCULAS DELGADAS



El efecto del pH en la síntesis de películas delgadas tiene un papel clave en la fotocatalisis, ya que este parámetro afecta las propiedades ópticas y morfológicas del material depositado.

En cuanto a las propiedades ópticas de las películas delgadas, se ha reportado por medio de estudios de caracterización de ultravioleta visible (UV-Vis) en rango de longitudes de onda de 200 a 800 nm, que la absorbancia se mantiene en un nivel estable como lo menciona Intaphong y col., 2020 en un estudio a diferentes valores de pH.

En cuanto a las propiedades morfológicas, este mismo autor menciona que en la caracterización por microscopía electrónica de transmisión (TEM), que a un pH de 8 se favorece una estructura porosa del material y de igual manera incrementa la capacidad de absorción del contaminante para degradarlo.

7.3. CONCENTRACIONES DE FOTOCATALIZADOR Y DEL CONTAMINANTE

Un factor relevante para la eficiencia fotocatalítica de los fotocatalizadores son las cargas o concentraciones que se tiene tanto del material fotocatalizador como del contaminante, se ha demostrado que a mayores cargas del fotocatalizador se favorece la fotodegradación debido a que se aumentan la velocidad de reacción ocurrida en el proceso. Por otra parte, la concentración del contaminante influye de manera directa debido a que, a mayor concentración del pigmento, el área de superficie relativa expuesta a los factores ambientales que causan la fotodegradación será menor. Es decir, a mayor concentración inicial de colorante, se necesita más carga del fotocatalizador para su degradación. Por lo tanto, es importante determinar la cantidad óptima de fotocatalizador para asegurar una buena eficiencia y evitar el uso innecesario de material (Groeneveld y col., 2023).



CONCLUSIONES

Las películas delgadas de óxidos de cobre (CuO) y óxido de zinc (ZnO) son materiales prometedores en el ámbito de la fotocatalisis, especialmente en la degradación de contaminantes orgánicos irradiados con luz ultravioleta o visible. Su alta eficiencia fotocatalítica es esencial para abordar la creciente problemática de la contaminación del agua, un desafío ambiental crítico que afecta la salud pública y los ecosistemas. A través de procesos fotocatalíticos, estas películas delgadas pueden contribuir significativamente a la purificación del agua al descomponer compuestos tóxicos y patógenos.

La diversidad de métodos de síntesis, tanto químicos como físicos, permite la optimización de sus propiedades, adaptándose a diferentes requisitos y aplicaciones en el tratamiento de aguas contaminadas. Sin embargo, para maximizar su rendimiento, es esencial un control riguroso en los parámetros de deposición y una caracterización precisa de los materiales obtenidos.

El desarrollo de heteroestructuras no solo aporta a la fotodegradación de contaminantes del agua, sino que también abre nuevas oportunidades para la investigación en conservación de recursos y reducción de impacto ambiental. A medida que se superan los desafíos asociados a su producción y aplicación, el uso de películas delgadas de CuO/ZnO podría convertirse en una estrategia clave en la lucha contra la contaminación hídrica, promoviendo un futuro más limpio y sostenible.

REFERENCIAS

- Abegunde, O. O., Akinlabi, E. T., Oladijo, O. P., Akinlabi, S., & Ude, A. U. (2019). Overview of thin film deposition techniques. *AIMS Materials Science* 6: 174–199. AIMS Press. <https://doi.org/10.3934/MATERSCI.2019.2.174>
- Allawi, F., Mahdi, M. A., Kadhim, M. J., & Omran Alkhayatt, A. H. (2024). Preparation and characterization of ZnO/CuO nanocomposites thin films for highly efficient visible-light photocatalysis of acriflavine dye. *Optik*, 303: 171722 <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2024.171722>
- Amakali, T., Daniel, L. S., Uahengo, V., Dzade, N. Y., & de Leeuw, N. H. (2020). Structural and optical properties of ZnO thin films prepared by molecular precursor and sol-gel methods. *Crystals*, 10: 132. <https://doi.org/10.3390/cryst10020132>
- Bensouici, F., Bououdina, M., Iratni, A., Toubane, M., & Tala-Ighil, R. (2015). Effect of thickness on photocatalytic activity of TiO₂ thin films. *Progress in Clean Energy*, 1: 763–776. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16709-1_56
- Danish, M. S. S., Estrella, L. L., Alemaida, I. M. A., Lisin, A., Moiseev, N., Ahmadi, M., Nazari, M., Wali, M., Zaheb, H., & Senjyu, T. (2021). Photocatalytic applications of metal oxides for sustainable environmental remediation. *Metals*, 11: 1–25. <https://doi.org/10.3390/met11010080>
- Groeneveld, I., Kanelli, M., Ariese, F., & van Bommel, M. R. (2023). Parameters that affect the photodegradation of dyes and pigments in solution and on substrate – An overview. In *Dyes and Pigments* 210: 110999. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.dye.2022.110999>
- Intaphong, P., Phuruangrat, A., Karthik, K., Dumrongrojthanath, P., Thongtem, T., & Thongtem, S. (2020). Effect of pH on Phase, Morphology and Photocatalytic Properties of BiOBr Synthesized by Hydrothermal Method. *Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials*, 30(3): 714–721. <https://doi.org/10.1007/s10904-019-01259-0>
- Islam, M. R., Rahman, M., Farhad, S. F. U., & Podder, J. (2019). Structural, optical and photocatalysis properties of sol-gel deposited Al-doped ZnO thin films. *Surfaces and Interfaces*, 16: 120–126. <https://doi.org/10.1016/j.surfin.2019.05.007>
- Kaneva, N. V., Tzenov Dimitrov, D., & Svinyarov, I. (2015). Effect of thickness on the photocatalytic properties of ZnO thin films. In *Article in Bulgarian Chemical Communications*, 47: 395-401. <https://www.researchgate.net/publication/288436875>
- Katal, R., Masudy-panah, S., Kong, E. Y. J., Dasineh Khiavi, N., Abadi Farahani, M. H. D.,



- & Gong, X. (2020). Nanocrystal-engineered thin CuO film photocatalyst for visible-light-driven photocatalytic degradation of organic pollutant in aqueous solution. *Catalysis Today*, 340: 236–244. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2018.12.019>
- Kulis-Kapuscinska, A., Kwoka, M., Borysiewicz, M. A., Wojciechowski, T., Licciardello, N., Sgarzi, M., & Cuniberti, G. (2023). Photocatalytic degradation of methylene blue at nanostructured ZnO thin films. *Nanotechnology*, 34: 11. <https://doi.org/10.1088/1361-6528/aca910>
- Liu, Z. L., Deng, J. C., Deng, J. J., & Li, F. F. (2008). Fabrication and photocatalysis of CuO/ZnO nano-composites via a new method. *Materials Science and Engineering: B*, 150(2): 99–104. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2008.04.002>
- López, Y., & Scarioni, L. (2016). Optical and electrical properties of CuO films. In *Revista Ingeniería UC*, 23: 290-296.
- Low, J., Yu, J., Jaroniec, M., Wageh, S., & Al-Ghamdi, A. A. (2017). Heterojunction Photocatalysts. In *Advanced Materials* (Vol. 29, Issue 20). Wiley-VCH Verlag. <https://doi.org/10.1002/adma.201601694>
- Lv, J., Gong, W., Huang, K., Zhu, J., Meng, F., Song, X., & Sun, Z. (2011). Effect of annealing temperature on photocatalytic activity of ZnO thin films prepared by sol-gel method. *Superlattices and Microstructures*, 50(2): 98–106. <https://doi.org/10.1016/j.spmi.2011.05.003>
- Madiha, Z., Radouane, D., Bouras, D., & Boudjema, B. (2023). Photocatalytic Degradation of Orange II by Active Layers of Ag-Doped CuO Deposited by Spin-Coating Method. *Journal of Nano Research*, 80: 1–19.
- Nazar Elamin, & Ammar Elsanousi. (2013). Synthesis of zno nanostructures and their photocatalytic activity. *Journal of Applied and Industrial Science*, 1: 32-35.
- Oliveira, M. C., Fonseca, V. S., Andrade Neto, N. F., Ribeiro, R. A. P., Longo, E., de Lazaro, S. R., Motta, F. V., & Bomio, M. R. D. (2020). Connecting theory with experiment to understand the photocatalytic activity of CuO–ZnO heterostructure. *Ceramics International*, 46(7): 9446–9454. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2019.12.205>
- Ong, C. B., Ng, L. Y., & Mohammad, A. W. (2018). A review of ZnO nanoparticles as solar photocatalysts: Synthesis, mechanisms and applications. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81: 536–551. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.020>
- Pal, S., Maiti, S., Narayan Maiti, U., & Chattopadhyay, K. K. (n.d.). Low temperature solution

processed ZnO/CuO heterojunction photocatalyst for visible light induced photo-degradation of organic pollutants. *CrystEngComm*, 17: 1464-1476.

Pedaneekar, R. S., Shaikh, S. K., & Rajpure, K. Y. (2020). Thin film photocatalysis for environmental remediation: A status review. In *Current Applied Physics*, 20: 931-952. Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2020.04.006>

Raha, S., & Ahmaruzzaman, M. (2022). ZnO nanostructured materials and their potential applications: progress, challenges and perspectives. *Nanoscale Advances*, 4: 1868-1925. Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d1na00880c>

Raizada, P., Sudhaik, A., & Singh, P. (2019). Photocatalytic water decontamination using graphene and ZnO coupled photocatalysts: A review. In *Materials Science for Energy Technologies*, 2: 509-525. KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.mset.2019.04.007>

Sahu, K., Choudhary, S., Khan, S. A., Pandey, A., & Mohapatra, S. (2019). Thermal evolution of morphological, structural, optical and photocatalytic properties of CuO thin films. *Nano-Structures and Nano-Objects*, 17: 92-102. <https://doi.org/10.1016/j.nanoso.2018.12.005>

Singh, J., Manna, A. K., & Soni, R. K. (2020). Sunlight driven photocatalysis and non-enzymatic glucose sensing performance of cubic structured CuO thin films. *Applied Surface Science*, 530: 147258. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2020.147258>

Tounsi, N., Barhoumi, A., Chaffar Akkari, F., Kanzari, M., Guerhazi, H., & Guerhazi, S. (2015). Structural and optical characterization of copper oxide composite thin films elaborated by GLAD technique. *Vacuum*, 121: 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2015.07.011>

Wojtasik, K., Zięba, M., Tyszkiewicz, C., Pakieła, W., Żak, G., Jeremiasz, O., Gondek, E., Drabczyk, K., & Karasiński, P. (2023). Zinc Oxide Films Fabricated via Sol-Gel Method and Dip-Coating Technique—Effect of Sol Aging on Optical Properties, Morphology and Photocatalytic Activity. *Materials*, 16: 1898. <https://doi.org/10.3390/ma16051898>

Xia, Y., Wang, J., Chen, R., Zhou, D., & Xiang, L. (2016). A review on the fabrication of hierarchical ZnO nanostructures for photocatalysis application. In *Crystals*, 6: 148. MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/cryst6110148>

Xu, L., Su, J., Zheng, G., & Zhang, L. (2019). Enhanced photocatalytic performance of porous ZnO thin films by CuO nanoparticles surface modification. *Materials Science and Engineering: B*, 248: 114405. <https://doi.org/10.1016/j.mseb.2019.114405>



UNA REVISIÓN DE LA METALURGIA DE LOS ACEROS INOXIDABLES DÚPLEX

A REVIEW OF THE METALLURGY OF DUPLEX STAINLESS STEELS

CARLA ESTEFANÍA CONTRERAS
VALDÉS¹

MARCO ARTURO GARCÍA RENTERÍA¹

VÍCTOR HUGO LÓPEZ MORELOS²

RESUMEN

Los aceros inoxidable dúplex (AID) son distinguidos por su microestructura, la cual está compuesta por ferrita y austenita, han adquirido una relevancia notable en diversas industrias debido a la conjugación de sus propiedades mecánicas excepcionales y su alta resistencia a la corrosión. Estas aleaciones no solo brindan una resistencia mayor en comparación con los aceros inoxidable austeníticos convencionales, sino que también proporcionan una resistencia superior a la corrosión en ambientes hostiles. Este artículo de revisión recopila y analiza información obtenida de bases de datos científicas con el objetivo de comparar la literatura existente sobre la metalurgia de los aceros inoxidable dúplex (AID). Se examinan aspectos clave como la composición química que distingue a estos aceros, su microestructura y cómo esta influye directamente en su rendimiento mecánico y su resistencia a la corrosión. Además, se detallan las aplicaciones industriales más comunes de estos materiales, entre las que se incluyen sectores como el petroquímico, el gas y petróleo, la construcción naval y las plantas de desalinización, donde las propiedades de los aceros dúplex son especialmente valoradas y necesarias. Un enfoque particular del artículo es el análisis de los desafíos asociados al procesamiento y, especialmente, la soldadura de estos aceros, debido a su microestructura compleja. Se discuten los avances recientes en técnicas de soldadura que buscan mitigar problemas como la formación de fases indeseables o la pérdida de propiedades mecánicas críticas. En conjunto, este trabajo no solo presenta una visión integral de las

1. Facultad de Metalurgia, Unidad Norte, UAdeC.
2. Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo, Morelia, Mich.

Correspondencia
marcogarciarenteria@uadec.edu.
mx
<https://orcid.org/0000-0001-5313-4780>

características de los aceros inoxidable dúplex (AID), sino que también resalta los esfuerzos actuales por optimizar su procesamiento para mejorar su desempeño en aplicaciones industriales exigentes.

Palabras clave: metalurgia; acero inoxidable dúplex; ferrita; austenita; soldadura; corrosión.

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
19 de mayo de 2025.

ABSTRACT

Duplex stainless steels (DSA) are renowned for their two-phase ferrite and austenite microstructure. They have become a highly sought-after material in a range of industries thanks to their impressive mechanical properties and exceptional corrosion resistance. These alloys offer enhanced strength compared to conventional austenitic stainless steels and superior corrosion resistance in challenging environments. This review article collates and analyses information from scientific databases to provide a comprehensive overview of the existing literature on the metallurgy of duplex stainless steels (DSA). This review examines key aspects of duplex stainless steels, including their chemical composition, microstructure and how this directly influences their mechanical performance and corrosion resistance. Furthermore, the most common industrial applications of these materials are outlined, including sectors such as petrochemical, oil and gas, shipbuilding and desalination plants, where the properties of duplex steels are particularly valued and needed. The article emphasizes the analysis of the challenges associated with the processing, particularly the welding of these steels, due to their complex microstructure. The paper reviews recent advances in welding techniques that seek to mitigate problems such as forming undesirable phases or losing critical mechanical properties. It also provides a comprehensive overview of duplex stainless steels (DSA) characteristics and highlights current efforts to optimize their processing to improve their performance in demanding industrial applications.

Keywords: metallurgy; duplex stainless steel; ferrite; austenite; welding; corrosion.

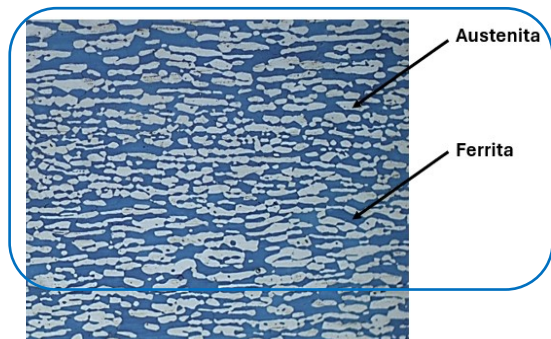
INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los aceros inoxidable dúplex se asocia al siglo XX (Francis y Byrne, 2021). La aleación dúplex combina elementos de Cr-Ni-Mo-Fe y una microestructura constituida por granos en partes iguales de γ -austenita (FCC) y α -ferrita (BCC). Este acero inoxidable brinda una alta resistencia al límite elástico, también buena tenacidad y excelentes propiedades de resistencia a la corrosión (Maurya y col., 2021). A causa de estas características, se emplea ampliamente en diversas aplicaciones, como plantas nucleares, equipos de procesamiento químico, recipientes, tuberías, intercambiadores de calor, turbinas, industrias de pulpa y papel, digestores y desalinización de agua de mar. Aunque, el acero inoxidable dúplex es complejo de mecanizar debido a su alto contenido de austenita, nitrógeno y una mayor concentración de elementos de aleación (Gowthaman y col., 2020).

METODOLOGÍA

CLASIFICACIÓN Y ESPECIFICACIONES

Los aceros inoxidable dúplex (DSS) se definen por su clasificación que se basa en su composición química y los procesos de tratamiento termo-



mecánico aplicados (Tahchieva y col., 2019). La Figura 1, muestra una microestructura de un acero inoxidable dúplex, en el que se observan sus fases principales austenita y ferrita (Kahar, 2017).

Figura 1. Microestructura del acero inoxidable dúplex.

dúplex, destacando su composición química y las propiedades mecánicas que los definen. El acero inoxidable superdúplex (AISD) es conveniente para entornos altamente corrosivos, siendo una opción viable al acero inoxidable superaustenítico de alta aleación. Por otro lado, los aceros inoxidables hiperdúplex, una innovación reciente, destacan por ofrecer la máxima resistencia a la corrosión dentro de la amplia gama de aceros inoxidables y sus aleaciones, estas propiedades logran que los hiperdúplex reemplacen hasta a las aleaciones basadas en níquel, siendo una solución más rentable para la protección contra la corrosión (Patra y col., 2021).

La Tabla 1, presenta la clasificación de los tipos más destacados de aceros inoxidables

Tabla 1. Principales componentes químicos de los aceros inoxidables dúplex más representativos

Grado	C	Mn	Ni	C	N	S	Cu	Mo	W	Cr	Ni Equivalente	Crequi/	PREN	YS (Mpa)	UTS (Mpa)	% Elongación
2101	21	5	1.5	.02	.23	.4	.3	0.2		21.2	9.075	2.34	25.34	600	700	30
2304	23	1.5	4	.02	.13	.4	.3	.2		23.3	8.575	2.72	26.07	450	650	35
2205	22	1	5	.02	.15	.4	.3	3		25	10.18	2.46	34.3	480	680	35
2507	25	1	7	.02	.25	.4	.2	3.5		28.5	15.15	1.88	40.55	620	800	30
32.760	25	.6	7	.02	.25	.4	.6	3.5	.6	28.5	15.25	1.87	40.55	620	800	30
2707	27	.8	7	.02	.4	.4	.4	5		32	19.1	1.62	49.9	700	850	30



DESARROLLO Y DISCUSIÓN

1. TRANSFORMACIONES DE FASE Y MICROESTRUCTURA

El acero inoxidable dúplex (AID) es una aleación Fe-Cr-Ni en la que convergen las fases ferrita y austenita en una proporción equilibrada en 50/50. Esta microestructura se logra mediante un tratamiento térmico óptimo y una adición apropiada de elementos de aleación como Cr, Mn, Mo, Ni y N₂ (Mampuya y col., 2021). Además de la relación de las dos fases, las propiedades de los AID están muy relacionadas con los precipitados secundarios, que conllevan principalmente (σ), chi (χ), τ , R y π . Estos precipitados afectan tanto a los nitruros como CrN y Cr₂N, carburos como M₇C₃ y M₂₃C₆ (M=Fe o Cr) y compuestos intermetálicos, como las fases sigma, lo que impacta tanto en sus propiedades mecánicas como en su resistencia a la corrosión, principalmente con respecto a la formación de las fases σ y χ (Zhang y col., 2022).

En la siguiente tabla se describen algunas de las características cristalográficas de las partículas presentes en los aceros inoxidables dúplex (Gunn, 1997).

Tabla 2. Características cristalográficas de las partículas observadas en aceros inoxidables dúplex

Partícula	Fórmula química	Cr	Ni	Mo	Rango de formación, °C	Tipo de red	Grupo espacial	Parámetro de red	Relación de orientación	Ubicación
Ferrita δ	-	27.4	8.7	4.0	-	BCC	Im3m	A=2.86-2.88		Matriz
Alfa prima (α')	-	65	2.5	13	300-525	BCC	Im3m	A=2.86-2.88	<001>	Intra δ
G-fase	>14	25	25	4	300-400					Inter α/α'
Austenita primaria (γ)		26.6	9.6	3.3	<1250	FCC	Fm3m	A=3.58-3.62	K-S: (111) γ //(110) δ {101} γ //{111} δ	Intra δ
Austenita secundaria γ_2	Tipo 1 Tipo 2 Tipo 3	Igual 24.3	Que la 11	Ferrita 3.4	<650 650-800 700-900	FCC			<133> δ N-W K-S	Intra δ , δ/γ y δ con σ
Sigma (σ)	Fe-Cr-Mo	30	4	7	600-1000	Tetragonal	P42/mnm	A=8.79, C=4.54	(111) Γ //(001) σ {110} γ //{110} σ	Inter δ/γ
Chi (χ)	Fe ₃₆ Cr ₁₂	25	3	14	700-900	BCC-	I43m	A=8.92		Inter



	Mo10					Mn				δ/γ
R Laves	Fe2Mo	25	6	35	550-650	Trigonal	R3	A=10.903, c=19.34	<0001>R<101> δ	Inter δ/γ y δ
Nitruros de cromo	CR2N-CrN	72	6	15	700-950	Cúbica	P31m Fm3m	A=4.795, c=4.469, a=4.13-4.47	<0001>Cr2N<011> δ	Intra δ
Pi (π)	Fe7Mo3N4	35	3	34	550-600	Cúbica	P132	A=6.47	<001> π <012> δ	Intra δ
Epsilon (ϵ)	Rico en Q				No definido					Intra δ
Tao (τ)					550-650	Ortorrómico	Fmmm	A=4.05, b=4.84, c=2.86		δ/γ y δ
Carburos	M7C3C6	58	2.5	12	950-1050 650-950	FCC	Pnma Fm3m	A=4.52, b=6.99, c=12.11 a=10.56-10.65	{111} δ <111> δ	δ/γ y δ

A causa de su inestabilidad microestructural, los aceros inoxidables dúplex pueden desarrollar fases intermetálicas indeseables, como alfa prima (α'), chi (χ), sigma (σ), carburos y nitruros, que pueden formarse durante los tratamientos térmicos o durante la soldadura en su aplicación. Entre estas fases, la precipitación de la fase sigma es más relevante en los aceros AID y AISD, ya que su presencia deteriora de gran manera tanto las propiedades mecánicas como la resistencia a la corrosión. Además, la fase sigma suele ocupar la mayor proporción de volumen entre las distintas fases intermetálicas que se desarrollan en estas microestructuras. Por esta razón, en muchos análisis se omiten otras fases precipitadas, se considera que la fase sigma es la principal responsable de la degradación de las propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión de este material. Asimilar las condiciones que promueven la formación de esta fase es esencial para prevenirla durante el procesamiento o la aplicación del acero, garantizando así el mantenimiento de sus propiedades mencionadas anteriormente. El estudio de estas transformaciones de fase, que conllevan la nucleación y el crecimiento de nuevas fases, usualmente se realiza con el apoyo de teorías cinéticas avanzadas (Fonseca y col., 2019).

En la Figura 2, se exhibe un diagrama esquemático de tiempo-temperatura-precipitación (TTP), que ilustra los rangos de temperatura estimados en los que tienen lugar las precipitaciones de fases secundarias. Entre las fases más sobresalientes se encuentran los carburos, nitruros y las fases σ , χ , R, γ_2 . Este diagrama también refleja



cómo las variaciones en el contenido de aleación influyen considerablemente en la cinética de precipitación, proporcionando una herramienta clave para entender y controlar la formación de estas fases durante el procesamiento térmico (Koniorczyk y col., 2021).

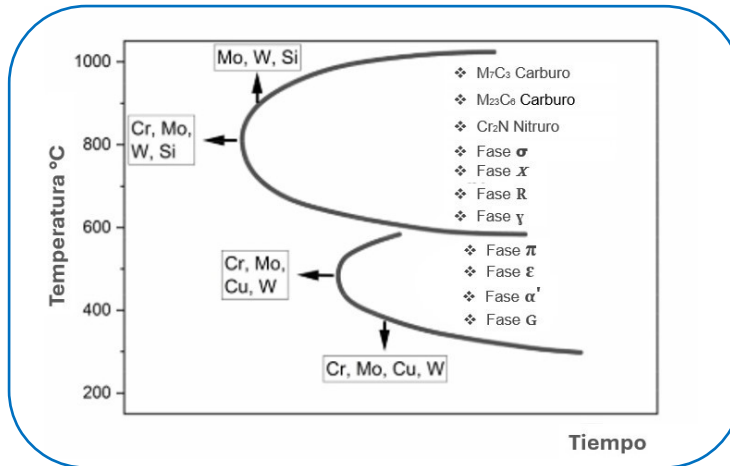


Figura 2. Diagrama esquemático TTT para fases secundarias en AID.

2. PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS

Las propiedades mecánicas como dureza y resistencia a la tracción de los inoxidables dúplex son alrededor de 1.5 veces superiores a las de los inoxidables austeníticos y ferríticos (Okayasu y Ishida, 2019). Sin embargo, la fragilización de los aceros inoxidables dúplex suele ser provocada por la formación de fases σ y χ en el rango de temperatura de 700–900 °C, a la vez que, a temperaturas inferiores a 500 °C, la denominada "fragilización a 475 °C" es dominante. Esta fragilización se debe esencialmente a la separación de Fe y Cr en la fase de ferrita que conlleva a la formación de dominios BCC ricos en Fe (α) y dominios BCC ricos en Cr (α') a escala nanométrica. Esta transformación de fase, nombrada separación de fases (SF), puede llegar a ocurrir a través de dos mecanismos, ya sea, nucleación y crecimiento (NC) o descomposición espínodal (DE). El mecanismo activo está dado por la composición química de la aleación y la temperatura. La SF incrementa la dureza de la



ferrita, pero sacrifica la tenacidad al impacto de los AID (Xu y col., 2019). A causa de la naturaleza bifásica de estas aleaciones y al comportamiento mecánico desigual entre la austenita y la ferrita, se pueden provocar algunos daños y fallas (grietas en los bordes) a lo largo del procesamiento de los componentes de los AID. Por lo tanto, se hacen indispensables estudios de la compatibilidad plástica entre las fases constitutivas (Besharatloo y col., 2020). La inestabilidad de la microestructura de AID en el rango de temperatura de 280-550 °C, después de un uso a largo plazo en este rango de temperatura, con frecuencia se observa una evolución microestructural a escala nanométrica en el material, lo que encamina a un deterioro grave de las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión. Durante las últimas décadas, se han ejecutado numerosos estudios para investigar el proceso de degradación de las características de uso en AID durante el envejecimiento térmico a largo plazo (Fan y col., 2021). En los últimos años se ha incorporado en las estructuras de los edificios un nuevo acero inoxidable dúplex (S32001) con buena resistencia a la corrosión y propiedades mecánicas (Li y col., 2022). El diseño de aleaciones de aceros inoxidables dúplex con alto contenido en nitrógeno ha obtenido una atención ascendente debido a su excelente resistencia, ductilidad y anticorrosión. Sin embargo, los coeficientes de fluencia de estos aceros suelen ser inferiores y no pueden llegar a cumplir con los requisitos de las piezas estructurales (Zhang y col., 2022). El tratamiento electro-punzado aplicado al AID es una técnica alentadora para reducir el estado de endurecimiento por deformación sin la necesidad de tratamientos de recocido (Gennari y col., 2020).

3. MECANIZADO

La maquinabilidad se hace referencia a las muchas operaciones tales como: taladrado, corte, roscado, fresado y rectificado. Los aceros dúplex 2304 de baja aleación son mayormente mecanizables en comparación

con los grados austeníticos 316SS, 317SS (Gowthaman y col., 2020). Las operaciones de recocido y trabajo en caliente de estos aceros se realizan usualmente a temperaturas inferiores del solvente de ferrita, donde la austenita y la ferrita pueden coexistir en equilibrio. Supervisando la temperatura de transformación y la velocidad de enfriamiento desde esa temperatura es posible ajustar tanto la proporción como la distribución de ferrita y austenita en el material forjado (Lippold, 2015). La complejidad del procesamiento de los aceros dúplex se ve afectada por una serie de factores, como la fragmentación inherente del material, la estimulación de la deformación plástica durante el proceso de fabricación y la formación de severos cráteres de desgaste (Gopal y Gutema, 2021). Se examinan algunos aspectos del mecanizado de aceros inoxidable y aleaciones a través de procesos NTM, como el mecanizado por descarga eléctrica (EDM) y el electroerosionado por hilo (Ramesh, 2018).

4. RESISTENCIA A LA CORROSIÓN GENERAL

Los AID ofrecen una alta resistencia a la corrosión general, por la presencia de cromo, que produce una capa pasiva de óxido de cromo en la superficie. Esta capa resguarda el acero de la corrosión en ambientes oxidantes, como el aire y el agua. La película de pasivación puede brindar una mejor resistencia a la corrosión general de los aceros inoxidable, pero se ve sometida sin dificultad a una corrosión local, especialmente en presencia de especies aniónicas agresivas. Entre los comportamientos de corrosión local, la corrosión por picadura es la más agresiva porque no se puede observar su profundidad a simple vista, además, la picadura actuará como origen de grietas, agilizando el fallo de un acero (Chen y col., 2020). En la tabla 3, se muestran cómo diversas adiciones de aleación y la microestructura afectan la resistencia a la corrosión, tanto por picaduras como por grietas, en los AID (Gunn, 1997).

Tabla 3. Influencia de diferentes adiciones de aleación y microestructura en la resistencia a la corrosión de los aceros



inoxidables dúplex

Elemento	Efecto	Motivo	Limitación práctica
C	Negativo	Provoca la precipitación de carburos de cromo en zonas pobres en cromo.	Alrededor de 0.03% como máximo
Si	Positivo	El Si estabiliza la película pasiva	Alrededor del 2% como máximo, debido a su efecto en la estabilidad estructural y en la solubilidad del nitrógeno.
Mn	Negativo	Los sulfuros ricos en Mn actúan como iniciadores de las picaduras. El Mn también puede desestabilizar la película pasiva.	Alrededor del 2% los niveles más altos también podrían aumentar el riesgo de precipitación intermetálica.
S	Negativo	Los sulfuros, si no son ricos en Cr-Ti o Ce-, tienden a iniciar el ataque por picaduras	Alrededor del 0.003 %. Si se requiere la máxima resistencia a las picaduras. Para una maquinabilidad razonable se permite hasta 0.02%.
Cr	Positivo	Cr estabiliza la película pasiva	Entre 25 y 26% máximo, según el contenido de Mo. Un mayor contenido de Cr aumenta el riesgo de precipitación intermetálica.
Ni	Negativo	El aumento de Ni, otros elementos constantes, diluye la fase γ , y si la aleación es muy sensible a la precipitación de nitruros de cromo el Ni puede tener un efecto positivo.	El Ni debe utilizarse principalmente para dar a la aleación el contenido de austenita deseado.
Mo	Positivo	El Mo estabiliza la película pasiva, ya sea directamente o mediante el enriquecimiento por debajo de la película.	Alrededor de 4-5% máximo, dependiendo del contenido de Cr. El Mo aumenta el riesgo de precipitación intermetálica.
N	Positivo	El N aumenta drásticamente el Pre número de la fase σ , no solo por el aumento de N-contenido de esa fase, sino también por el aumento de los contenidos de Cr y Mo a través de sus coeficientes de participación.	Alrededor del 1.15% en las calidades sin Mo. Alrededor de 0.3% en calidades súper-dúplex y alrededor de 0.4% en aleaciones con 25% de Cr, alto contenido en Mo y alto contenido en Mn.

5. PROCESOS DE SOLDADURA APLICABLES PARA ACEROS

INOXIDABLES

El proceso de soldadura supone fenómenos eléctricos, térmicos, químicos, fluidos y mecánicos. También implica la fusión de las superficies de fusión del AID y su subsecuente solidificación. Esta fusión conlleva el calentamiento del metal base cerca de la zona de fusión, que se designa como zona afectada por el calor (ZAC). Esta región depende de la entrada de calor, del campo térmico, de la fusión de la carga, de la velocidad de enfriamiento, de las variables del proceso y de la técnica utilizada. Los métodos más comunes para la soldadura de AID son: la soldadura por arco de tungsteno con gas (GTAW), soldadura por arco metálico con gas (GMAW), soldadura por arco sumergido (SAW), soldadura por arco de plasma (PAW), soldadura por fricción (FSW) y soldadura por láser y por haz de electrones (LBW/EBW), (Chaudhari y col., 2019).



Se han llevado a cabo diversas investigaciones experimentales con el objetivo de dominar el proceso de soldadura láser. Es claro que las máquinas de soldadura láser encuentran una amplia aplicación en las industrias manufactureras y automotrices (Abdo y Seikh, 2021). La soldadura por fricción y agitación es un proceso en estado sólido que elimina los problemas comunes asociados con la solidificación, tales como las grietas de solidificación, la licuación y la segregación de elementos de aleación. Las pruebas de tracción realizadas demostraron una mejora en la resistencia de las uniones soldadas, evidenciando un aumento tanto en el límite elástico como en la resistencia a la tracción en todos los casos analizados (Santos y col., 2018). Para optimizar el desarrollo de materiales derivados de AID, por lo que es fundamental crear fundentes capaces de reducir de manera significativa los efectos del contenido de difusión de hidrógeno en la unión soldada, lo que resultará en propiedades mecánicas mejoradas (Omiogbemi y col., 2022). El proceso de soldadura deberá ser optimizado para lograr el mejor equilibrio posible en cuanto a la tasa de enfriamiento. Si esta es excesivamente alta, se produce un exceso de ferrita; por el contrario, si es demasiado lenta, pueden precipitarse fases que debilitan el material (Alvarez y Degallaix, 2013). La tabla 4 muestra artículos científicos de autores mexicanos con temas relacionados con el AID publicados en distintas revistas.

Tabla 4. Artículos científicos de autores mexicanos del acero inoxidable dúplex

Artículo	Año	Autor	Revista
Identificación de fases y precipitados por MFA en uniones de acero inoxidable dúplex	2016	María Eugenia Herrera Lopez, Eduardo Hurtado Delgado, David Torres Torres, Ana María Arizmendi Morquech	Soldagem & Inspeção
Improvement of localised corrosion resistance of AISI 2205. Duplex stainless-steel joints made by gas metal arc welding under electromagnetic ionteraction of low intensity	2014	MA García-Rentería, VH López-Morelos, R García-Hernández, L Dzib-Pérez, EM García-Ochoa, J González-Sánchez	Applied Surface Science
Study of the effect of sigma phase precipitation on the sliding wear and corrosion behaviour of duplex stainless steel AISI 2205	2018	JL Del Abra-Arzola, MA García-Rentería, VL Cruz-Hernández, J García-Guerra, VH Martínez-Landeros, LA Falcón-Franco, FF Curiel-López	Wear

Effect of electromagnetic interaction during fusion welding of AISI dúplex stainless steel on the corrosion resistance	2017	MA García-Rentería, VH López-Morelos, J González-Sánchez, R García-Hernández, L Dzib-Pérez, FF Curiel-López	Applied Surface Science
Effect on the microstructure and mechanical properties of the electromagnetic stirring during GMA welding of 2205 DSS plates	2013	MA García, VH López, R García, FF Curiel, J Lemus	Materials Science Forum
Electrochemical characterization of AISI 2205 duplex stainless Steel welded joints electromagnetic interaction	2015	MA García-Rentería, VH López-Morelos, R García-Hernández, E Bedolla-Becerril, JA González-Sánchez	Materials (MDPI)
Effect of a magnetic field applied during fusion welding on the fatigue damage of 2205 stainless Steel joints	2019	J Rosado-Carrasco, Ulrich Krup, Víctos H López-Morelos, Alexander Giertler, MA García-Rentería, J González-Sánchez	International Journal Fatigue
Influencia del calor de entrada en la evolución microestructural de la unión disímil de acero inoxidable lean dúplex 2304 y acero inoxidable super dúplex 2507 soldados mediante el proceso GTW	2023	Bryan Ramiro Rodríguez Vargas, Argelia Fabiola Miranda, Perez, Eduardo Hurtado Delgado, Gladys Yerania Pérez Medina	Electrónica en Ingeniería Mecánica

En la Tabla 5, se pueden observar algunas de las patentes relacionadas con los AID que abarcan innovaciones que buscan mejorar sus propiedades en los últimos años, así como los principales países y empresas que patentan.

Tabla 5. Las patentes relacionadas con los aceros inoxidables dúplex

Nombre de la patente	Año	Resumen	País	Empresa
A new welding dúplex stainless Steel material suitable for welding a dúplex stainless steel. a welded joint and a welding method thereof	2023	Material de soldadura para unir acero inoxidable dúplex que producirá una junta de soldadura que tendrá alta resistencia	Francia	Alleima Tube AB
Duplex stainless steel welded joint.	2024	Junta soldada de acero inoxidable d+dúplex que puede suprimir los cortes y tiene excelentes características de fatiga.	EEUU	Nippon Steel Corporation
Two pahse stainless Steel welded joint	2022	Se proporciona una junta soldada de acero inoxidable en dos fases que puede suprimir las socavaciones y tiene características de fatiga superiores.	Japón	Nippon Steel Corporation
Auxiliary device for welding dúplex stainless Steel	2023	El dispositivo auxiliar para soldadura de acero inoxidable dúplex comprende un banco de trabajo, un mecanismo giratorio y uno de ajuste.	China	Nantong Zhongkuang MetalNew Material Co. LTD.
Duplex stainless steel welded wire and preparation method	2023	La invención proporciona un alambre de soldadura de acero inoxidable dúplex y un método de	China	Zhenshi Group Huazhi



thereof		preparación del mismo.		Research Institute Zhejiang Co. LTD.
Treatment equipment suitable for welding duplex stainless steel	2023	Mecanismo de soldadura ajustable	China	Nantong Zhongkuang Metal New Material Co. LTD.
Austenite ferrite 2205 duplex stainless steel plate welding proces	2023	La invención se refiere a un proceso de soldadura de placa de acero inoxidable de doble fase con ferrita austenita 2205, que adopta un material de soldadura con los mismos componentes que la placa	China	Angang Steel Company Limited
Method for on-line adjustment of phase proportion in duplex stainless Steel welding	2023	La invención describe un método de ajuste de proporción de fases en línea de soldadura de acero inoxidable dúplex	China	Zhejiang University of Technology
Method for regulating and controlling microstructure and corrosion resistance of electric arc additive manufactured duplex stainless Steel	2023	La invención describe un método para regular y controlar la microestructura y la resistencia a la corrosión de acero inoxidable dúplex fabricado con aditivos de arco eléctrico	China	China-Ukrainian Institute of Welding
Heat treatment method for duplex stainless Steel Weld join	2023	Un método de tratamiento térmico de muntas soldadas de acero inoxidable dúplex	China	China National Petroleum Corporation

CONCLUSIONES

Los aceros inoxidables dúplex se destacan como materiales avanzados debido a la combinación excepcional de muy buenas propiedades mecánicas y alta resistencia a la corrosión, ideal para aplicaciones exigentes. Su estructura bifásica, juega un papel crucial en determinar sus propiedades y en la forma en que deben ser tratados durante el proceso de soldadura.

El éxito de la soldadura depende de la elección adecuada del material de aporte, el tipo de proceso de soldadura y el control preciso de la temperatura para garantizar que la soldadura mantenga tanto las propiedades mecánicas, así como la resistencia a la corrosión del acero base.

La clave para superar los desafíos asociados con la soldadura de aceros inoxidables dúplex radica en una combinación de investigación continua y experiencia práctica, que permite perfeccionar las técnicas y alcanzar un rendimiento óptimo.



REFERENCIAS

- Abdo, H. S. y Seikh, A. H. (2021). *Mechanical Properties and Microstructural Characterization of Laser Welded S32520 Duplex Stainless Steel*. *Materials*, 14(19). <https://doi.org/10.3390/ma14195532>
- Alvarez-Armas, I. y Degallaix-Moreuil, S. (2013). *Duplex stainless steels*. John Wiley & Sons.
- Besharatloo, H., Carpio, M., Cabrera, J.-M., Mateo, A. M., Fargas, G., Wheeler, J. M., Llanes, L. (2020). *Novel Mechanical Characterization of Austenite and Ferrite Phases within Duplex Stainless Steel*. *Metals*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/met10101352>
- Chaudhari, A. N., Dixit, K., Bhatia, G. S., Singh, B., Singhal, P. y Saxena, K. K. (2019). *Welding Behaviour of Duplex Stainless Steel AISI 2205: A Review*. *Materials Today: Proceedings*. Vol. 18, pp. 2731-2737. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.07.136>
- Chen, Y., Yang, B., Zhou, Y., Wu, Y. y Zhu, H. (2020). *Evaluation of pitting corrosion in duplex stainless steel Fe20Cr9Ni for nuclear power application*. *Acta Materialia*. Vol. 197, pp. 172-183. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2020.07.046>
- Fan, Y., Liu, T. G., Xin, L., Han, Y. M., Lu, Y. H. y Shoji, T. (2021). *Thermal aging behaviors of duplex stainless steels used in nuclear power plant: A review*. *Journal of Nuclear Materials*. Vol. 544, pp. 152693. <https://doi.org/10.1016/j.jnucmat.2020.152693>
- Fonseca, G. S. d., Mendes, P. S. N. y Silva, A. C. M. (2019). *Sigma Phase: Nucleation and Growth*. *Metals*, 9(1): 34.
- Francis, R. y Byrne, G. (2021). *Duplex Stainless Steels—Alloys for the 21st Century*. *Metals*, 11(5): 836.
- Gennari, C., Pezzato, L., Tarabotti, G., Zambon, A., Di Schino, A. y Calliari, I. (2020). *Influence of Electropulsing Treatments on Mechanical Properties of UNS S32750 Duplex Stainless Steel*. *Materials*, 13(7):1613. <https://doi.org/10.3390/ma13071613>
- Gopal, M. y Gutema, E. M. (2021). *Factors Affecting and Optimization Methods used in Machining Duplex Stainless Steel-A Critical Review*. *Journal of Engineering Science & Technology Review*, 14(2): 119-125. DOI: [10.25103/jestr.142.16](https://doi.org/10.25103/jestr.142.16)
- Gowthaman, P. S., Jeyakumar, S. y Saravanan, B. A. (2020). *Machinability and tool wear mechanism of Duplex stainless steel – A review*. *Materials Today: Proceedings*, 26: 1423-1429. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.295>

- Gunn, R. (1997). *Duplex Stainless Steels—Microstructure, Properties and Applications*. Cambridge.
- Kahar, S. (2017). Duplex Stainless Steels-An overview. *International Journal of Engineering Research and Applications*. Vol. 07, pp. 27-36. <https://doi.org/10.9790/9622-0704042736>
- Koniorczyk, P., Sienkiewicz, J., Zmywaczyk, J., Dębski, A., Zieliński, M. y Preiskorn, M. (2021). Effect of Microstructure on Thermophysical Properties of Heat-Treated Duplex Steel. *Materials*, 14(20): 6043.
- Li, S., Ding, W., Zhang, Q., Xiao, X. y Zhou, Q. (2022). Experimental study of the mechanical properties of a new duplex stainless steel exposed to elevated temperatures. *Case Studies in Construction Materials*, 17: e01683. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01683>
- Lippold, J. C., & Kotecki, D. J. . (2015). *Welding Metallurgy and Weldability of Stainless Steels*.
- Mampuya, M. B., Umba, M. C., Mutombo, K. y Olubambi, P. A. (2021). Effect of heat treatment on the microstructure of duplex stainless steel 2205. *Materials Today: Proceedings*, 38: 1107-1112. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.06.196>
- Maurya, A. K., Pandey, C. y Chhibber, R. (2021). Dissimilar welding of duplex stainless steel with Ni alloys: A review. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 192: 104439. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2021.104439>
- Okayasu, M. y Ishida, D. (2019). Effect of Microstructural Characteristics on Mechanical Properties of Austenitic, Ferritic, and γ - α Duplex Stainless Steels. *Metallurgical and Materials Transactions A*, 50(3): 1380-1388. <https://doi.org/10.1007/s11661-018-5083-4>
- Omiogbemi, I. M. B., Pandey, S., Yawas, D. S., Afolayan, M. O. y Dauda, E. T. (2022). Effect of welding conditions and flux compositions on the metallurgy of welded duplex stainless steel. *Materials Today: Proceedings*, 49: 1162-1168. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.161>
- Patra, S., Agrawal, A., Mandal, A. y Podder, A. S. (2021). Characteristics and Manufacturability of Duplex Stainless Steel: A Review. *Transactions of the Indian Institute of Metals*, 74(5): 1089-1098. <https://doi.org/10.1007/s12666-021-02278-7>
- Ramesh, R. (2018). *Machining of Stainless Steels and Alloys Using Non-Traditional Machining Processes*. In D. Zoia (Ed.), *Stainless Steels and Alloys*. Ch. 2). Rijeka: IntechOpen.
- Santos, T. F. d. A., Torres, E. A. y Ramirez, A. J. (2018). Friction stir welding of duplex

stainless steels. *Welding International*, 32(2): 103-111.
<https://doi.org/10.1080/09507116.2017.1347323>

Tahchieva, A. B., Llorca-Isern, N. y Cabrera, J.-M. (2019). Duplex and Superduplex Stainless Steels: Microstructure and Property Evolution by Surface Modification Processes. *Metals*, 9(3): 347.

Xu, X., Wessman, S., Odqvist, J., King, S. M. y Hedström, P. (2019). Nanostructure, microstructure and mechanical properties of duplex stainless steels 25Cr-7 Ni and 22Cr-5Ni (wt.%) aged at 325 °C. *Materials Science and Engineering: A*. 754: 512-520. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2019.03.046>

Zhang, D., Liu, A., Yin, B. y Wen, P. (2022). Additive manufacturing of duplex stainless steels - A critical review. *Journal of Manufacturing Processes*, 73: 496-517. <https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2021.11.036>

Zhang, Y., Wang, C., Reddy, K. M., Li, W. y Wang, X. (2022). Study on the deformation mechanism of a high-nitrogen duplex stainless steel with excellent mechanical properties originated from bimodal grain design. *Acta Materialia*, 226: 117670. <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2022.117670>

REVISIÓN DEL USO DE CAMPOS MAGNÉTICOS EN LA SOLDADURA

REVIEW OF THE USE OF MAGNETIC FIELDS IN STEEL WELDING

GIOVANNA RODRÍGUEZ HERNÁNDEZ¹

VENTURA LILIA CRUZ HERNÁNDEZ²

RESUMEN

La soldadura es un proceso para unir o reparar estructuras metálicas mediante la fusión de uno o más materiales con o sin material de aporte. Hay varios procesos de soldadura: 1) Soldadura SMAW, usa un electrodo revestido y es versátil y económico, aunque genera humo. 2) Soldadura GMAW/MIG, utiliza gas inerte y produce un cordón limpio, ideal para la industria automotriz. 3) Soldadura GTAW, ofrece alta calidad para metales no ferrosos, aunque es más lenta. 4) Soldadura SAW, adecuada para materiales de alto calibre y producción en masa, protegida por un fundente. 5) soldadura RSW, empleada para unir placas delgadas en la industria automotriz mediante corriente eléctrica. Los factores que afectan la soldadura son; materiales, parámetros operativos (corriente, voltaje y velocidad de avance, la configuración y posición del electrodo o antorcha). La aplicación de campos magnéticos en soldadura, mejoran la estabilidad del arco, controlan la pileta de fusión y reducen defectos. Son útiles en el proceso GMAW, SAW Y SMAW para obtener un cordón de soldadura de calidad, mejorar la penetración y distribución del calor, reducir salpicaduras y porosidad. Beneficios: aumentar la eficiencia, reducir defectos y versatilidad en diferentes aplicaciones. Su implementación requiere equipos especializados y conocimientos avanzados, lo cual implica un costo inicial elevado y mayor complejidad en el proceso. Sin embargo, con los avances tecnológicos, los campos magnéticos podrían ser cada vez más usados en la soldadura industrial, mejorando la calidad y reduciendo costos. La investigación continua busca superar los desafíos actuales, permitiendo una adopción más

1. Facultad de Metalurgia, Unidad Norte, UAdeC.
2. Facultad de Contaduría y Administración, Unidad Norte, UAdeC.

Correspondencia
giovanna_rodriguez@uadec.edu.
mx

amplia de esta tecnología.

Palabras clave: campo magnético; arco eléctrico; electrodo; electromagnetismo; ZAT (zona afectada térmicamente).

Fecha de recepción
15 de enero de 2025.

Fecha de aceptación
26 de mayo de 2025.

ABSTRACT

Welding is a process for joining and repairing metal structures by fusing materials together. There are several welding methods, each suitable for different materials and project needs: 1) SMAW welding, uses a coated electrode, although this generates smoke. 2) GMAW/MIG welding, uses inert gas and produces a clean bead. It is widely used in the automotive industry. 3) GTAW/TIG welding, uses a non-consumable tungsten electrode. This process is slower. 4) SAW welding, uses a continuous feed. 5) RSV welding, used to join thin sheets in the automotive industry using electric current. Factors affecting welding are; materials, operating parameters (current, voltage and travel speed, configuration and position of the electrode or torch. Applications of magnetic fields in welding: They improve arc stability, control the molten pool and reduce defects. They are useful in methods such as GMAW, SAW AND SMAW to obtain a higher quality weld bead, improve heat penetration and distribution, and reduce spatter and porosity. Benefits: increased efficiency, reduced defects, and versatility in different applications. However, its implementation requires specialized equipment and advanced knowledge, which implies a high initial cost and greater complexity in the process. However, with technological advances, magnetic fields could be increasingly used in industrial welding, improving quality and reducing costs. Ongoing research seeks to overcome current challenges, enabling wider adoption of this technology.

Keywords: magnetic field; electric arc; electrodo; electromagnetism; ZAT.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la soldadura ha evolucionado de ser un simple método de unión de materiales a convertirse en un pilar fundamental para múltiples sectores industriales, como la automotriz, gasoductos, petroquímica, la construcción, marítima, entre otras. La constante búsqueda de perfeccionar este proceso ha impulsado el desarrollo de tecnologías avanzadas que no solo mejoran la calidad de las uniones, sino que también optimizan la eficiencia y reducen los costos operativos. Entre estas tecnologías, el uso de campos magnéticos ha emergido como una alternativa prometedora y revolucionaria (Cueva Jiménez, 2024).

Los campos magnéticos (CM) ofrecen la capacidad de influir directamente en varios aspectos críticos del proceso de soldadura. Desde estabilizar el arco eléctrico y controlar la distribución del metal fundido hasta reducir defectos como porosidades y grietas, su implementación ha demostrado un impacto positivo en la calidad y consistencia de las uniones soldadas. Además, su capacidad para ajustar parámetros operativos y la geometría del cordón de soldadura, amplía las posibilidades para abordar desafíos específicos en diferentes materiales y preparaciones de la unión (Queiroz y col., 2020; Xiao y col., 2020).

Este artículo profundiza en los principios físicos que rigen la interacción entre los CM y los procesos de soldadura, abordando cómo estas interacciones pueden aprovecharse para maximizar los resultados. Asimismo, se examina la interacción de los CM en diversos tipos de procesos de soldadura. Sin embargo, como toda innovación, el uso de CM presenta desafíos que deben superarse, desde la complejidad en la implementación hasta la necesidad de un control preciso de los parámetros.

En conjunto, esta revisión busca proporcionar una visión integral sobre el estado actual de esta tecnología, destacando su potencial transformador en la industria de la soldadura y señalando las oportunidades futuras para seguir explorando sus límites.

SOLDADURA

Este método es un proceso metalúrgico y de fusión, la soldadura se logra suministrando calor a un área entre el electrodo y la pieza de trabajo, de esta forma se empiezan a fundir las superficies del metal hasta llegar a su unión. Dependiendo la técnica, se puede utilizar algún metal de aporte. Es importante analizar la morfología y propiedades mecánicas de las piezas soldadas, ya que puede haber cambios microestructurales tanto en el metal base como en el cordón de soldadura debido a la transferencia de calor (Cueva Jiménez, 2024; Fathi y col., 2019).

El proceso de soldadura da como resultado tres zonas básicas en las piezas soldadas (ver Figura 1):

1. La zona centro del cordón: La unión de los componentes
2. La zona afectada térmicamente (ZAT): Área del metal base que no se funde durante el proceso, pero si se ve afectada en sus propiedades físicas debido al calor y contiene la zona de grano grueso, zona de grano fino, zona de recristalización incompleta.
3. La zona del metal base (MB): Área adyacente a la ZAT, no se ve afectada por el calor generado durante el proceso.

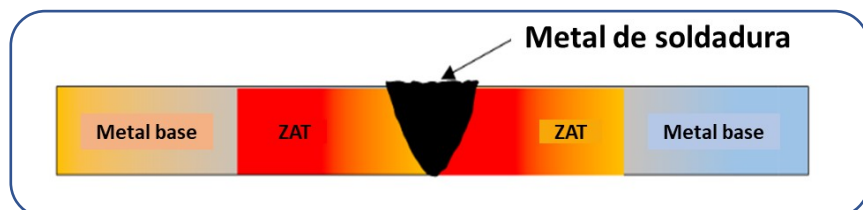


Figura 1. Perfil de la soldadura que muestra MB, HAZ y MS.

La temperatura de la unión o el calor de aporte (Heat input) determinará la estructura de la ZAT (Figura 2). Entre mayor sea el calor de aporte, más afectada estará la zona adyacente a la línea de fusión (Fathi y col., 2019).

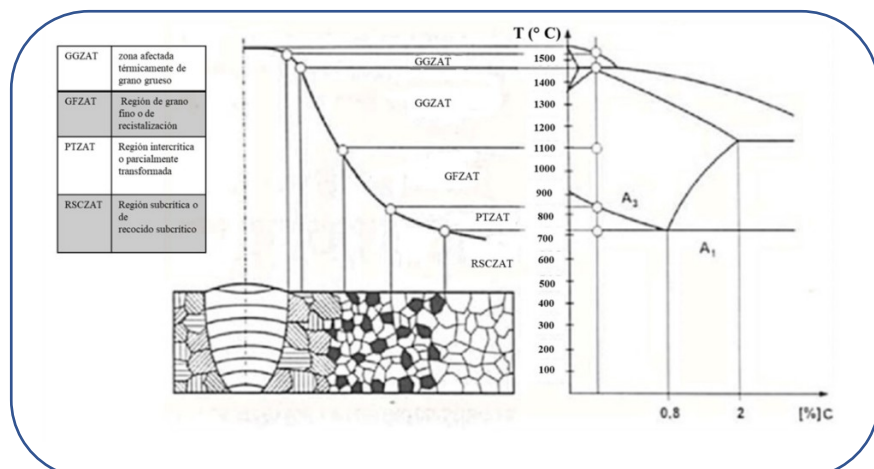


Figura 2. Efecto del gradiente de temperatura en la estructura de la ZAT. Fuente: Elaboración propia.

El proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW, por sus siglas en inglés) es el más utilizado y más sencillo a comparación con el proceso de soldadura por rayo láser (por sus siglas en inglés LBW), ya que el equipo es más económico y fácil de utilizar, permite soldaduras para grandes estructuras. Sin embargo, debido a la transferencia de calor a las piezas de trabajo, la técnica de soldadura por arco generalmente conlleva a una gran ZAT y tiende a la formación de poros (Giudice y col., 2024).

Existen diversos procesos de soldadura, cada uno con características y aplicaciones específicas, que se eligen en función del tipo de material, el grosor, y los requisitos del proyecto. (Baghel, 2022; Madavi y col., 2022; Pathak y col., 2022; Zhou & Takahashi, 2024) Nos definen los principales métodos de soldadura, los cuales son (Tabla 1):

Tabla 1. Los procesos de soldadura

Principal es métodos	Resumen	Aplicación	Ventajas	Desventajas
Soldadura SMA W	Soldadura con electrodo revestido, utiliza un arco eléctrico	Se utiliza en la industria aeroespacial, en automóviles	Muy utilizada debido a su versatilidad y costo	El proceso puede generar más humo y

	entre el metal de aporte y el de base	y electrodomésticos	relativamente bajo	requiere de una buena ventilación.
Soldadura GMAW/MIG	Emplea un arco eléctrico entre un metal de aporte y el metal base, protegido por un gas inerte	Se usa en las industrias automotriz y de construcción	Es eficiente, produce un cordón de soldadura limpio y con menor cantidad de escoria	Agrietamiento o por solidificación
Soldadura GTAW/TIG	Utiliza un electrodo de tungsteno no consumible y un gas inerte para proteger el arco. Ofrece alta calidad de soldadura	Se usa para unir tuberías de acero inoxidable en las industrias del petróleo y el gas	Ofrece alta calidad de soldadura, ideal para metales no ferrosos	La velocidad de soldeo es menor en comparación con los otros procesos

La calidad de la soldadura es fundamental para el rendimiento y la durabilidad de las piezas soldadas, por lo que deben tomarse en cuenta estos factores al momento de realizar una soldadura, como por ejemplo para aceros el AWS D1.1/D1.1 M:2002 Structural Welding Code-Steel.

Factores a controlar para una mayor eficiencia durante la soldadura

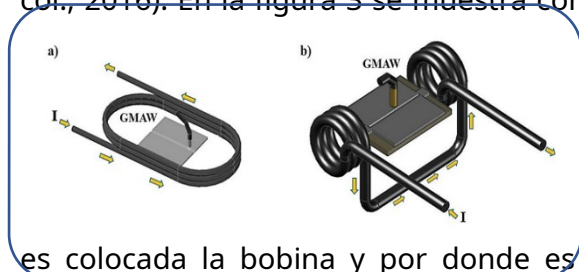
1. Materiales base: la composición química y las propiedades del material base influyen en la elección del método de soldadura y los parámetros de proceso.
2. Configuración y posición: la posición en la que se realiza la soldadura (plana, vertical, sobre cabeza) afecta la facilidad del proceso y la calidad de la soldadura.
3. Parámetros del proceso: la velocidad de soldadura, la corriente, el voltaje y la técnica de aplicación afectan la calidad de la soldadura.
4. Elección del proceso adecuado para realizar la soldadura.
5. Conocer la exposición de los componentes soldados que tendrán durante el servicio (Ramdam & Klimecka-Tatar, 2024).



CAMPOS MAGNÉTICOS (CM)

PRINCIPIOS FUNDAMENTALES

La aplicación de campos magnéticos (CM) en la soldadura se basa en los principios del electromagnetismo y la interacción del campo magnético con el arco eléctrico de soldadura. En la soldadura existen flujos de corriente en el arco, el electrodo, el tipo de transferencia y la pileta de soldadura, que pueden verse influenciados por el campo magnético externo (CME) para generar fuerzas electromagnéticas externas. Cuando se aplica un campo magnético externo, las partículas cargadas en el arco experimentan una fuerza de Lorentz, que puede desviar, estabilizar o controlar de forma flexible mediante el diseño de la distribución espaciotemporal de los campos electromagnéticos (Queiroz y col., 2020; Wang y col., 2020; Wu y col., 2017). El efecto del campo electromagnético externo (CEME) puede ser constante o por pulsos. Puede ser considerado un imán permanente o inducido por una bobina (Liu y col., 2016; Wang y col., 2016). En la figura 3 se muestra como



es colocada la bobina y por donde es la entrada de corriente eléctrica para generar el campo electromagnético.

Figura 3. Arreglo de los campos magnéticos para el proceso de soldadura GMAW a) CEMA y b) CEMP (Cruz-Hernández y col., 2022).

Esta tecnología está diseñada para mejorar los resultados de la soldadura, la estabilidad del arco y controlar mejor la geometría del cordón de soldadura (Chen y col., 2011; Garcia y col., 2015; Jiang y col., 2012; Liu y col., 2024). En los procesos de soldadura, un gran gradiente

de temperatura y un intenso cambio de fases causan tensiones y deformación en la soldadura. Al controlar la forma del arco mediante el CEME, el gradiente de temperatura disminuye (Zhong y col., 2012) y, por ende, reduce la ZAT, y previene el agrietamiento durante el enfriamiento (García Rentería y col., 2013; Hailong y col., 2014; Janaki Ram y col., 1999; Nikzad y col., 2016; Thomy & Vollertsen, 2005).

Por otra parte, la aplicación de los CEME también ha tenido impacto sobre la solidificación de la soldadura, el control de la transferencia del metal de aporte, la microestructura y propiedades mecánicas (Luo y col., 2010; Reis y col., 2013; Wu y col., 2017).

Normalmente los campos magnéticos se aplican de dos formas; campo electromagnético transversal (CEMT) o campo electromagnético longitudinal (CEML) al arco de soldadura. La aplicación transversal ayuda a estabilizar el arco de soldadura, reduciendo fluctuaciones y mejorando la calidad del cordón. Los campos magnéticos longitudinales afectan la transferencia de metal y la distribución del calor, lo que puede resultar en una soldadura más uniforme y con menos defectos (Liu y col., 2024).

Por otro lado, también se ha utilizado el campo electromagnético rotacional (CEMR) y el campo electromagnético axial (CEMA) (Liu y col., 2024; Liu y col., 2016; Wang y col., 2016). A continuación, se muestra la Figura 4 de las diferentes formas que se pueden aplicar los campos electromagnéticos en el proceso de soldadura.



DIFERENTES PROCESOS DE SOLDADURA

SOLDADURA GMAW

En el proceso de soldadura por arco metálico con gas de protección (GMAW, por sus siglas en inglés) los campos magnéticos (CM) se utilizan principalmente para estabilizar el arco y controlar el metal. La estabilidad del arco es crucial para obtener alta calidad, y la aplicación de campos magnéticos es eficaz en la reducción de salpicaduras y en el control del calor. Los estudios han demostrado que un campo transversal puede estabilizar el arco y reducir la fluctuación así la consistencia del cordón de soldadura (Xiao y

SOLDADURA SMAW

Aunque el uso de CM en el proceso de soldadura por arco con electrodo revestido (SMAW, por sus siglas en inglés) es menos común, su aplicación puede ser beneficiosa en situaciones donde se requiere un mayor control del arco, como en soldaduras en posiciones complejas. Los campos magnéticos pueden ayudar a estabilizar el arco y reducir la cantidad de escoria producida durante el proceso, mejorando la calidad del cordón de soldadura y reduciendo el trabajo de limpieza posterior (Pathak y col., 2022).

SOLDADURA GTAW

En la soldadura por arco con tungsteno y gas de protección (GTAW, por sus siglas en inglés) los campos magnéticos pueden influir en la estabilidad del arco y el calentamiento del electrodo. Un CM aplicado adecuadamente puede mejorar el control de la geometría del cordón de soldadura y reducir las deformaciones térmicas, lo que es crucial en aplicaciones donde se requiere alta precisión, como en la industria aeroespacial y electrónica (Luo y col., 2015; Yin y col., 2012).



A continuación, se muestra la Tabla 2 de patentes relacionados al “Uso de campos magnéticos en la soldadura” de diferentes autores, aplicados a diferentes instituciones en la última década y años pasados.

Tabla 2. Patentes relacionadas al uso de campos magnéticos en la soldadura

Título de patente	Autor	Año	País	Empresa
GB2158758 Soldadura por arco	Blakeley Philip John	1985	Reino Unido	Welding Int.
CNI06312252 Método para superar el golpe de deflexión magnética de los campos magnéticos en el arco eléctrico de soldadura	Zhu Ning, He Yaofei, Wu Rongshan, Lu Xiaoxin	2017	China	Pangang Group Engineering Technology Co. LTD
CN115007974 Método de soldadura por arco de tungsteno de argón con restricción de presión negativa por arco	Wang Ying, Luo Jian	2022	China	Sangai University of Engineering Science
Soldadura MIG-plasma	Gerogiy Ignatchenko, Igor Dykhno	2005	Estados Unidos	Plasma Laser Tech LTD
Método de soldadura MIG y dispositivo de soldadura MIG	Kengo Hyoma, Yoshihiro Tanabe, Yutaka Kodama, Kotaro Inose	2017	Japón	HIH Corp
US4336441- Welding Process	Goday Tomakazu, Sugiyama Tohru, Nishikawa Yutaka	1982	Estados Unidos	Kobe Steel LTD
CN102848058 Método y dispositivo para refinar las estructuras de las uniones soldadas mediante el uso de campos magnéticos pulsados en el proceso de soldadura	Zhou Yueming, Fu Jianquin	2013	China	Baoshan Hierro y Acero Co. LTD
Metodología de la interacción electromagnética de baja intensidad aplicada en la soldadura de aceros inoxidable austeníticos de doble fase para disminuir la corrosión localizada e intergranular	Rafael García Hernández, Víctor Hugo López Morelos	2016	México	Universidad Michoacana de San Nicolás Hidalgo
US20190037651- Métodos y aparatos para proporcionar campos magnéticos asimétricos y calentamiento por inducción utilizando campos magnéticos asimétricos	Michael Hoeger	2019	Estados Unidos	Illinois Tool Works Inc.

CONCLUSIONES

El uso de campos magnéticos en la soldadura representa un avance significativo en la tecnología de unión de materiales, ofreciendo una serie de beneficios que mejoran tanto la calidad como la eficiencia del proceso de soldadura. Este enfoque innovador ha ganado atención en la industria por su capacidad para controlar y mejorar el proceso de soldadura mediante la manipulación de campos magnéticos alrededor del arco de soldadura y la piqueta de fusión.

Uno de los principales beneficios del uso de campos magnéticos en la soldadura es la mejora en la estabilidad del arco de soldadura. La estabilidad del arco es crucial para asegurar una unión uniforme y duradera entre los materiales. Los campos magnéticos, especialmente cuando se aplican transversalmente al arco, ayudan a reducir las fluctuaciones del arco, lo que resulta en una soldadura con mejor geometría del cordón y libre de defectos. Esta estabilidad es fundamental para evitar problemas como salpicaduras y porosidad, que pueden comprometer la calidad del cordón de soldadura.

Además, el control del flujo del metal fundido y la distribución del calor en la ZAT se ven beneficiados, lo que reduce defectos como grietas y porosidad.

El uso de campos magnéticos también permite un control más preciso de la penetración y la distribución del calor. La capacidad de ajustar estos parámetros con mayor precisión ayuda a minimizar el sobrecalentamiento o la formación de grandes zonas afectadas por el calor (ZAT) que puedan debilitar la soldadura.

DESAFÍOS Y LIMITACIONES

A pesar de los beneficios significativos, la implementación de campos magnéticos en la soldadura no está exenta de desafíos. Uno de los principales obstáculos es el costo asociado con la instalación y el mantenimiento de equipos especializados. La generación y el control de campos magnéticos requieren inversiones en tecnología avanzada, lo que puede ser una barrera para su adopción generalizada.

Otro desafío es la complejidad operativa que implica el uso de campos magnéticos. La correcta implementación de esta tecnología requiere un conocimiento técnico avanzado y una capacitación específica para los operadores. Los ajustes precisos y la calibración de los sistemas magnéticos son fundamentales para obtener los mejores resultados.

REFERENCIAS

- Baghel, P. K. (2022). Effect of SMAW process parameters on similar and dissimilar metal welds: An overview. *Heliyon*, 8(12): e12161. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12161>
- Chen, Y., Sui, F., Cong, K., Yan, X., Zhang, G., & Guan, S. (2011). Effects of Shielding Gas and Magnetic Field on Characteristics of AZ31 Magnesium Alloy by TIG Welding. *Materials Science Forum*, 704-705: 1186-1196. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.704-705.1186>
- Cruz-Hernández, V. L., García-Hernández, R., López-Morelos, V. H., García-Rentería, M. A., & González-Sánchez, J. (2022). Intergranular corrosion of AISI 347 stainless steel welds obtained under electromagnetic interaction of low intensity. *Materials Letters*, 312: 131679. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.131679>
- Cueva Jiménez, G. F. (2024). ANALYSIS OF WELDING TYPES THROUGH NON-DESTRUCTIVE. *Aula Virtual*, 5(12): 446-465. <https://doi.org/https://doi.org/10.5281/zenodo.11521698>
- Fathi, M. S. A., Ismael, Q., & Saleh, K. A. (2019). An effect of welding type on the mechanical properties of welding joints. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*, 9(4): 699-707.
- García, M., López, V., Rafael, G., Bedolla, E., & González-Sánchez, J. (2015). Electrochemical Characterization of AISI 2205 Duplex Stainless Steel Welded Joints with Electromagnetic Interaction. *Procedia Materials Science*, 8: 950-958. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2015.04.156>
- García Rentería, M. A., López Morelos, V. H., García Hernández, R., Curiel López, F., & Lemus-Ruíz, J. (2013). Effect on the Microstructure and Mechanical Properties of



the Electromagnetic Stirring during GMA Welding of 2205 DSS Plates. *Materials Science Forum*, 755: 61-68.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.755.61>

Giudice, F., Missori, S., Scolaro, C., & Sili, A. (2024). A Review on Fusion Welding of Dissimilar Ferritic/Austenitic Steels: Processing and Weld Zone Metallurgy. *Journal of Manufacturing and Materials Processing* 8(3): 96.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/jmmp8030096>

Hailong, L., Lixiang, W., & Yunhai, S. (2014). The Research on Microstructure and Properties of WQ960 Welded Joints under Longitudinal Magnetic Field. *Proceedings of the 2014 International Conference on Mechatronics, Electronic, Industrial and Control Engineering*, 1: 92-95
<https://doi.org/10.2991/meic-14.2014.21>

Janaki Ram, G. D., Murugesan, R., & Sundaresan, S. (1999). Fusion zone grain refinement in aluminum alloy welds through magnetic arc oscillation and its effect on tensile behavior. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 8(5): 513-520.
<https://doi.org/10.1007/s11665-999-0002-x>

Jiang, S., Wang, X., Chen, H., & Liu, P. (2012). The Impact of Adscitious Longitudinal Magnetic Field on CO2 Welding Process. *Advanced Materials Research*, 538-541: 1447-1450. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.538-541.1447>

Liu, Y., Ding, H., Luo, J., Bair, D., Xu, X., & Chang, Y. (2024). Numerical and experimental study of TIG welding arc in high frequency longitudinal magnetic field. *Journal of Materials Research and Technology*, 33: 5253-5262.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.10.181>

Liu, Y., Sun, Q., Wang, H., Zhang, H., Cai, S., & Feng, J. (2016). Effect of the axial external magnetic field on copper/aluminium arc weld joining. *Science and Technology of Welding and Joining*, 21: 1-6. <https://doi.org/10.1080/13621718.2015.1125406>

Luo, J., Luo, Q., Wang, X., & Wang, X. (2010). EMS-CO2 Welding: A New Approach to Improve Droplet Transfer Characteristics and Welding Formation. *Materials and Manufacturing Processes*, 25(11): 1233-1241.
<https://doi.org/10.1080/10426914.2010.481000>

Luo, J., Zongxiang, Y., & Keliang, X. (2015). Anti-gravity gradient unique arc behavior in the longitudinal electric magnetic field hybrid tungsten inert gas arc welding. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 84: 647-661.
<https://doi.org/10.1007/s00170-015-7728-4>

Madavi, K. R., Jogi, B. F., & Lohar, G. S. (2022). Metal inert gas (MIG) welding process: A



study of effect of welding parameters. *Materials Today: Proceedings*, 51: 690-698.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.06.206>

Nikzad, S., Ashuri, H., Kokabi, A., Shafizadeh, M., & Ferasat, K. (2016). Newly Developed Technique to Eliminate Hot Cracking with Electromagnetic Vibration for Joining of 2024 Aluminum Alloy. *Metallography, Microstructure, and Analysis*, 5(1): 7-15.
<https://doi.org/10.1007/s13632-016-0255-3>

Pathak, D., Pandey, S. P., Singh, R. P., & Balu, V. (2022). Influence of external axial magnetic field on shielded metal arc weld properties for high strength low alloy steel. *Materials Today: Proceedings*, 62: 2748-2754.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.296>

Queiroz, A. V., Fernandes, M. T., Silva, L., Demarque, R., Xavier, C. R., & Castro, J. A. (2020). Effects of an External Magnetic Field on the Microstructural and Mechanical Properties of the Fusion Zone in TIG Welding. *Metals*, 10(6): 714.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/met10060714>

Ramdani, K., & Klimecka-Tatar, D. (2024). Quality Assurance in Special Processes on the Example of the Welding Process. *Materials Research Proceedings*, 45: 67-74.
<https://doi.org/https://doi.org/10.21741/9781644903315-9>

Reis, R., Scotti, A., Norrish, J., & Cuiuri, D. (2013). Investigation on Welding Arc Interruptions in the Presence of Magnetic Fields: Arc Length, Torch Angle and Current Pulsing Frequency Influence. *IEEE Transactions on Plasma Science*, 41:133-139. <https://doi.org/10.1109/TPS.2012.2230650>

Thomy, C., & Vollertsen, F. (2005). Influence of Magnetic Fields on Dilution during Laser Welding of Aluminium. *Advanced Materials Research*, 6-8: 179-186.
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.6-8.179>

Wang, L., Chen, J., Wu, C., & Luan, S. (2020). Numerical analysis of arc and droplet behaviors in gas metal arc welding with external compound magnetic field. *Journal of Materials Processing Technology*, 282: 116-638.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.116638>

Wang, L., Chen, J., Wu, C. S., & Gao, J. (2016). Backward flowing molten metal in weld pool and its influence on humping bead in high-speed GMAW. *Journal of Materials Processing Technology*, 237: 342-350. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2016.06.028>

Wu, H., Chang, Y., Lu, L., & Bai, J. (2017). Review on magnetically controlled arc welding process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 91(9):



4263-4273. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0068-9>

Xiao, L., Fan, D., Huang, J., Tashiro, S., & Tanaka, M. (2020). 3D Numerical Study of External Axial Magnetic Field-Controlled High-Current GMAW Metal Transfer Behavior. *Materials*, 13(24): 5792. <https://www.mdpi.com/1996-1944/13/24/5792>

Yin, X., Gou, J., Zhang, J., & Sun, J. (2012). Numerical study of arc plasmas and weld pools for GTAW with applied axial magnetic fields. *Journal of Physics D-applied Physics - J PHYS-D-APPL PHYS*, 45: 285203. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/45/28/285203>

Zhong, Q. L., Jiang, S. Y., Chen, H. M., & Liu, P. (2012). 3D FEM Simulation Analysis for the Residual Stress to GTAW Welded Joints Based on Adscititious Magnetic Field. *Applied Mechanics and Materials*, 138-139: 775-779. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.138-139.775>

Zhou, B., & Takahashi, A. (2024). Implementation of Non-Backing Gas GTAW Welding for Stainless Steel Process Piping in Oil and Gas Industries Pressure Vessels and Piping Conference. PVP2024-122575: V004T06A086. <https://doi.org/10.1115/PVP2024-122575>

