

# CienciaCierta



Universidad Autónoma de Coahuila

ISSN: 2683-1848  
Latindex folio: 30518

## CONTENIDO No. 77

Estado actual de la diabetes en México y uso de la nanotecnología en los nuevos tratamientos con insulina

Cambios en la dinámica de los flujos migratorios mexicano y centroamericanos hacia Estados Unidos, 2014-2022.

Evaluación de la citotoxicidad en la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc en polimetilmetacrilato (PMMA) para base de dentaduras completas

Nanotubos de carbono: aspectos generales y sus aplicaciones actuales

Factores ambientales, homeostáticos y emocionales asociados a la obesidad

Una metodología híbrida para la evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano docente basada en las habilidades y competencias profesionales, el potencial del personal y su desempeño en una universidad privada con campus en Monclova y Piedras Negras, Coahuila

El control de la vagancia y la criminalidad. Saltillo, 1810-1836

Descripción de los ansiógenos educativos y elementos inhibidores del desempeño académico de alumnos de Secundaria

Revisión sobre la producción, usos y revalorización de escorias

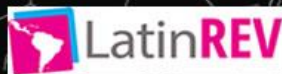
La física y la evolución de los videojuegos

Prevalencia de enfermedades de adultos mayores institucionalizados.

La enseñanza del Cálculo apoyado en softwares Matemáticos en alumnos del Nivel Medio Superior de Primer, Tercer y Quinto semestre de las diferentes especialidades del CETis 46 en Cd. Frontera Coahuila

La Estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad Emergente de Investigación: Un Enfoque Interdisciplinario Innovador para la Generación de Conocimiento.

Nuevos materiales en filtros para hemodiálisis: Un impacto tecnológico y una esperanza en la calidad de vida del paciente con enfermedad renal crónica



# No. 77

Saltillo, Coahuila, México



**ISSN: 2683-1848**

Publicada desde 2005

CienciAcierta, año 20, No. 77, enero-marzo de 2024, es una publicación trimestral editada por la Universidad Autónoma de Coahuila, boulevard Venustiano Carranza s/n colonia República Oriente, C.P. 25380, Saltillo, Coahuila, Editor Responsable: Ing. Carlos Federico Robledo Flores. Reserva de Derechos al uso exclusivo **No. 04-2019-010914143600-203, ISSN: 2683-1848**, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Departamento de Divulgación Científica de la Dirección de Investigación y Posgrado UA de C, Ing. Carlos Federico Robledo Flores, Edificio "D" planta alta, unidad Camporredondo, Saltillo, Coahuila, C.P. 25280, fecha de última modificación, 4 de enero de 2024.

## Consejo Ejecutivo Editorial:

**Dra. Anna Iлина**  
Editor

[annailina@uadec.edu.mx](mailto:annailina@uadec.edu.mx)

**Dr. David Castro Lugo**

CISE-Universidad Autónoma de Coahuila  
[david.castro@uadec.edu.mx](mailto:david.castro@uadec.edu.mx)

**Dr. José María Guajardo Espinoza**  
Editor asociado

Universidad Autónoma de Coahuila  
[jguajar@uadec.edu.mx](mailto:jguajar@uadec.edu.mx)

**Ing. Carlos Federico Robledo Flores**

Departamento editorial  
Universidad Autónoma de Coahuila  
[carlos.robledo@uadec.edu.mx](mailto:carlos.robledo@uadec.edu.mx)

**Dr. José Sandoval Cortes**

Subdirector Administrativo - DIP  
Universidad Autónoma de Coahuila  
[josesandoval@uadec.edu.mx](mailto:josesandoval@uadec.edu.mx)

**Dr. Cristóbal Noé Aguilar González**  
Grupo de Bioprocesos

Universidad Autónoma de Coahuila  
[cristobal.aguilar@uadec.edu.mx](mailto:cristobal.aguilar@uadec.edu.mx)

**Dr. José Luis Martínez Hernández**

Subdirector de Posgrado - DIP  
Universidad Autónoma de Coahuila  
[Jose-martinez@uadec.edu.mx](mailto:Jose-martinez@uadec.edu.mx)

## Comité técnico editorial nacional e internacional

**Dr. Jesús Alberto Montalvo Morales**

*Administración*  
Relaciones Internacionales-UAdeC  
[jesusmontalvo@uadec.edu.mx](mailto:jesusmontalvo@uadec.edu.mx)

**Juan Carlos Centeno Maldonado**

*Jurisprudencia*  
FJ- Universidad Autónoma de Coahuila.  
[centenojuan@uadec.edu.mx](mailto:centenojuan@uadec.edu.mx)

**Dra. Gabriela De La Peña Astorga**

*Comunicación*  
FCC-Universidad Autónoma de Coahuila  
[gabriela.pena@uadec.edu.mx](mailto:gabriela.pena@uadec.edu.mx)

**Dra. Virginia Nevárez Moorillón**

*Microbiología y ciencias ambientales*  
Facultad de Ciencias Químicas  
Universidad Autónoma de Chihuahua, México  
[vnevare@uach.mx](mailto:vnevare@uach.mx)

**Dr. Gilberto Aboites Manrique**

*Sociología*  
CISE-Universidad Autónoma de Coahuila  
[gilberto.aboites@uadec.edu.mx](mailto:gilberto.aboites@uadec.edu.mx)

**Dra. Arely Prado Barragán**

*Biología y Alimentos*  
Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa  
México.  
[lapb@xanum.uam.mx](mailto:lapb@xanum.uam.mx)

**Dra. Irma Delia García Calvillo**

*Matemáticas*  
CIMA- Universidad Autónoma de Coahuila  
[irma.garcia@uadec.edu.mx](mailto:irma.garcia@uadec.edu.mx)

**Dr. Gerardo Gutiérrez Sánchez**

*Ciencias Químicas y Biológicas*  
CCRC-The University of Georgia, USA.  
[gerardo@ccrc.uga.edu](mailto:gerardo@ccrc.uga.edu)

**Dr. Pablo Ruiz Flores**

*Ciencias de la Salud*  
CIB- Universidad Autónoma de Coahuila  
[pabloruiz@uadec.edu.mx](mailto:pabloruiz@uadec.edu.mx)

**Dr. Guillermo Picó**

*Ciencias Bioquímicas y Farmacéuticas*  
Universidad Nacional de Rosario, Argentina  
[gpico@fbioyf.unr.edu.ar](mailto:gpico@fbioyf.unr.edu.ar)

**Dr. José González Tovar.**

*Psicología*  
FP- Universidad Autónoma de Coahuila  
[josegonzaleztovar@uadec.edu.mx](mailto:josegonzaleztovar@uadec.edu.mx)  
[josegtovar82@hotmail.com](mailto:josegtovar82@hotmail.com)

**Dr. Luis Huesca Reynoso**

*Economía*  
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México  
[lhuesca@ciad.mx](mailto:lhuesca@ciad.mx)

**Dra. Elda Patricia Segura Ceniceros.**

*Química*  
FCQ- Universidad Autónoma de Coahuila  
[psegura@uadec.edu.mx](mailto:psegura@uadec.edu.mx)

**Dr. Manuel Gil Antón**

*Educación*  
El Colegio de México  
[mgil@colmex.mx](mailto:mgil@colmex.mx)

**Dr. Gustavo Félix Verduzco.**

*Economía*  
CISE- Universidad Autónoma de Coahuila.  
[gustavo.felix@uadec.edu.mx](mailto:gustavo.felix@uadec.edu.mx)

**Dra. Laura Elena Zendejas Frutos**

*Educación*  
INEE  
[laura.zendejas@inee.edu.mx](mailto:laura.zendejas@inee.edu.mx)

CONTENIDO

<b>Estado actual de la diabetes en México y uso de la nanotecnología en los nuevos tratamientos con insulina</b>	<b>6</b>
<i>Current status of diabetes in Mexico and the use of nanotechnology in new insulin treatments</i> José R. García-Torres, Antonia Martínez-Luévanos, Sofía Estrada Flores, Tirso E. Flores Guía; Luis A. García-Cerda	
<b>Cambios en la dinámica de los flujos migratorios mexicano y centroamericanos hacia Estados Unidos, 2014-2022.</b>	<b>34</b>
<i>Changes in the dynamics of mexican and central american migration flows to the United States, 2014-2022.</i> Juan Parra Ávila, Felipe Javier Uribe-Salas, Juan Felipe Mayo Carrillo	
<b>Evaluación de la citotoxicidad en la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc en polimetilmetacrilato (PMMA) para base de dentaduras completas</b>	<b>60</b>
<i>Evaluation of cytotoxicity in the incorporation of zinc oxide nanoparticles in polymethylmethacrylate (PMMA) for complete denture bases</i> Elsa Elizabeth Riojas Méndez, Sandra Cecilia Esparza González, Rebeca Betancourt Galindo, Aide Saenz Galindo, Jorge Ortíz	
<b>Nanotubos de carbono: aspectos generales y sus aplicaciones actuales</b>	<b>79</b>
<i>Carbon nanotubes: general aspects and their current applications</i> Alma Rosa Torres-Rodríguez, Aidé Sáenz-Galindo, Rosa Idalia Narro-Céspedes, Adalí Oliva Castañeda-Facio, Christian Javier Cabello-Alvarado	
<b>Factores ambientales, homeostáticos y emocionales asociados a la obesidad</b>	<b>130</b>
<i>Environmental, homeostatic and emotional factors associated with obesity</i> Luis Ervey Chacón Garza, Lizette Anabel Aguilar Zapata, Ana Sofía Torralba Hernández, Arturo Rodríguez Vidal, Lidia Guadalupe Trujano Ortiz	
<b>Una metodología híbrida para la evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano docente basada en las habilidades y competencias profesionales, el potencial del personal y su desempeño en una universidad privada con campus en Monclova y Piedras Negras, Coahuila</b>	<b>153</b>
<i>A hybrid methodology for the strategic evaluation of the availability of teaching human capital based on professional skills and competencies, staff potential and performance in a private university with campuses in Monclova and Piedras Negras, Coahuila</i> José Luis Silva Cruz, Yesica Yazmín Fuentes Ramírez, Anabell Martínez Arzola	
<b>El control de la vagancia y la criminalidad. Saltillo, 1810-1836</b>	<b>174</b>
<i>Vagrancy control and criminality in Saltillo, 1810-1836.</i> Dukary Martínez Arriaga, José Gabino Castillo Flores	
<b>Descripción de los ansiógenos educativos y elementos inhibidores del desempeño académico de alumnos de Secundaria</b>	<b>207</b>
<i>Description of the educational anxiety and inhibitory elements of the academic performance of secondary school students</i> Edgar Aguirre Sifuentes, José María Guajardo Espinoza, María Teresa Rivera Morales, Blanca de la Luz Fernández Heredia	

<b>Revisión sobre la producción, usos y revalorización de escorias</b>	
Review of the production, uses and reevaluation of slag	<b>221</b>
<i>Danay Alexandra Charles, Adrián Amilcare González-Ibarra, Gloria Ivone Dávila-Pulido, Armando Salinas-Rodríguez, Blanca Rosa González-Bonilla</i>	
<b>La física y la evolución de los videojuegos</b>	
<i>Physics and the evolution of video games</i>	<b>251</b>
<i>Iván Cuevas García, Natalia Galván Cámara, Felix R. Saucedo Zendejo</i>	
<b>Prevalencia de enfermedades de adultos mayores institucionalizados.</b>	
<i>Prevalence of diseases in institutionalized older adults.</i>	<b>288</b>
<i>Gabriel Gerardo Suárez Alemán, Víctor Manuel Velasco Rodríguez, María de Lourdes Limones Aguilar, Karla Lizbeth García Aguirre</i>	
<b>La enseñanza del Cálculo apoyado en softwares Matemáticos en alumnos del Nivel Medio Superior de Primer, Tercer y Quinto semestre de las diferentes especialidades del CETis 46 en Cd. Frontera Coahuila</b>	
The teaching of Calculus supported by Mathematical software in students of the Higher Secondary Level of the first, third and fifth semester of the different specialties of CETis 46 in Cd. Frontera Coahuila	<b>304</b>
<i>Adriana Hernández Córdova, Norma Araceli Aguilar Covarrubias, Oscar Javier Garza Guerrero</i>	
<b>La Estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad Emergente de Investigación: Un Enfoque Interdisciplinario Innovador para la Generación de Conocimiento.</b>	
The Cybercult@ Strategy and the Emerging Research Community: An Innovative Interdisciplinary Approach to Knowledge Generation.	<b>319</b>
<i>María Magdalena Gómez Guijarro, José Soto Balderas, Jesús Abraham Salazar Valadez</i>	
<b>Nuevos materiales en filtros para hemodiálisis: Un impacto tecnológico y una esperanza en la calidad de vida del paciente con enfermedad renal crónica</b>	
New materials in filters for hemodialysis: A technological impact and hope in the quality of life of patients with chronic kidney disease	<b>344</b>
<i>Rebeca Sadai Sánchez Huerta, Christian Javier Cabello Alvarado, Carlos Alberto Ávila Orta, Marlene Lariza Andrade Guel, Janeth Adriana Pérez Chantaco, Herminia Cerda y Meneses, Bertha Mauricio Benavides, Juan Enrique Mauricio Benavides</i>	

**Estado actual de la diabetes en México y uso de la nanotecnología en los nuevos  
tratamientos con insulina**

**Current status of diabetes in Mexico and the use of nanotechnology in new insulin  
treatments**

José R. García-Torres<sup>1</sup>, Antonia Martínez-Luévanos<sup>1\*</sup>, Sofía Estrada Flores<sup>1</sup>, Tirso E.  
Flores Guía<sup>1</sup>; Luis A. García-Cerda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas. Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard  
Venustiano Carranza. 25280. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Departamento de Materiales Avanzados, Centro de Investigación en Química Aplicada.  
CP 25294, Blvd. Enrique Reyna, Saltillo, Coahuila, México.

Autor de correspondencia: [aml15902@uadec.edu.mx](mailto:aml15902@uadec.edu.mx)  
Tel.: (52) 8441383973  
ORCID ID: 0000-0003-3499-1693

**Resumen:**

Actualmente, los países de todo el mundo asignan grandes cantidades de recursos monetarios en el control de la diabetes mellitus y en las enfermedades relacionadas con el síndrome metabólico. Los países en vías de desarrollo, como México, factores como el estilo de vida sedentario y la desinformación en el control de la alimentación provocan una mayor incidencia en los casos de diabetes mellitus. Por este motivo, es necesario estudiar las tendencias actuales en cuanto a la diabetes mellitus, los factores que desencadenan el desorden metabólico y aquellos que lo empeoran. En este trabajo de revisión nos centramos en el estudio del estado actual de la diabetes en México, los tratamientos actuales y los avances que se tienen en el campo de la nanotecnología para la administración de fármacos.

**Palabras clave:** diabetes, insulina, nanotecnología, nanomateriales.

**Abstract:**

Currently, countries all over the world invest large amounts of monetary resources in the control of diabetes mellitus and other diseases related with metabolic syndrome. In developing countries like Mexico, some factors like the sedentary lifestyle and a low knowledge about a good control in the diet promote a higher number of diabetes mellitus cases. For that reason, it is necessary to study the current trends on this disease, the factors responsible for the metabolic disorder and those that can aggravate it. In this work we focus on studying the current state of diabetes in Mexico, the treatments currently used and the advances in the field of nanotechnology for the administration of diabetes related drugs.

**Keywords:** diabetes, insulin, nanotechnology, nanomaterials.

## **1. Introducción**

### **1.1. Diabetes mellitus tipo 2**

La diabetes mellitus tipo 2 (DM2) es una enfermedad con alta prevalencia a nivel mundial. En la actualidad se estima que 1 de cada 11 personas alrededor del mundo padecen de algún tipo de diabetes mellitus, de las cuales el 90% tienen la DM2 (Bellary y col., 2021; Galicia-García y col., 2020). Además, este padecimiento tiene un curso crónico y una alta probabilidad de posibles complicaciones, tales como la insuficiencia renal, pérdida de visión, neuropatía, enfermedad circulatoria periférica y también puede desencadenar en un infarto agudo al miocardio y muerte súbita cardíaca (Lee y col., 2021; Singh y col., 2019); por lo anterior, la DM2 se ha convertido en una carga para el sistema de salud pública (Lee y col., 2021).

La DM2 es una enfermedad crónica y progresiva que involucra dos factores, el primero es la deficiente secreción de la insulina por las células beta pancreáticas y el segundo es la incapacidad de los tejidos a responder correctamente a los niveles de insulina (Galicia-García y col., 2020; Gómez-Peralta y col., 2020; Herrera y col., 2018). Además, el desarrollo de la DM2 implica una asimilación deficiente de la glucosa, lo que resulta en una mayor producción de insulina, la cual se conoce como insulina endógena. Estos factores implican una resistencia a la insulina. De manera general, cuando ocurre una resistencia a la insulina, se observa un incremento de insulina endógena; esto da como resultado un aumento de peso en el paciente, lo que empeora la resistencia a la insulina. Este proceso continúa hasta que la producción de insulina no es suficiente y ocurre una hiperglucemia (Courtney y Olefsky, 2007).

A nivel mundial, los datos epidemiológicos de la federación internacional de diabetes muestran que en el año 2019 ocurrieron 4.2 millones de defunciones a causa de la DM2.

Además, en el mismo año existían 463 millones de adultos con diabetes; las estimaciones indican que para el año 2030 habrá 578 millones de personas con diabetes y en el año 2045 serán 700 millones (*IDF DIABETES ATLAS*, 2021). En cuanto al gasto público, se estima que en el mismo año se gastaron cerca de 720 mil millones de dólares en tratamientos para la DM2. En México la DM2 es la segunda causa de muerte en el país y la principal causa de pérdida de años de vida saludable (María De Los Ángeles Gutiérrez-Bernal y col., 2022; O. Vera-Cruz, 2021).

En este trabajo se presenta una revisión actual del estado de la diabetes en México, ya que es la causa del 14 % de defunciones en el país, además se presenta un breve análisis de los nuevos avances en el campo de la nanotecnología aplicada en la administración de insulina.

## **1.2. Diabetes mellitus tipo 2 en México**

En México, las enfermedades crónicas no transmisibles como los padecimientos cardiovasculares, los tumores malignos y la diabetes mellitus son las principales causas de muerte. Además, la diabetes mellitus se asocia a distintas complicaciones como el aumento del riesgo cardiovascular, insuficiencia renal, riesgo de retinopatía diabética y la amputación de extremidades (Bello-Chavolla y col., 2017; Hurtado & Collazo-Clavell, 2022; López-Goerne y col., 2020). La DM2 en México ha aumentado de manera alarmante, pues en 1970 era la decimoquinta causa de muerte y desde el año 2000 es la principal (Bello-Chavolla y col., 2017). En particular, la mortalidad relacionada con la DM2 es más alta en los estados del centro y del norte de México.

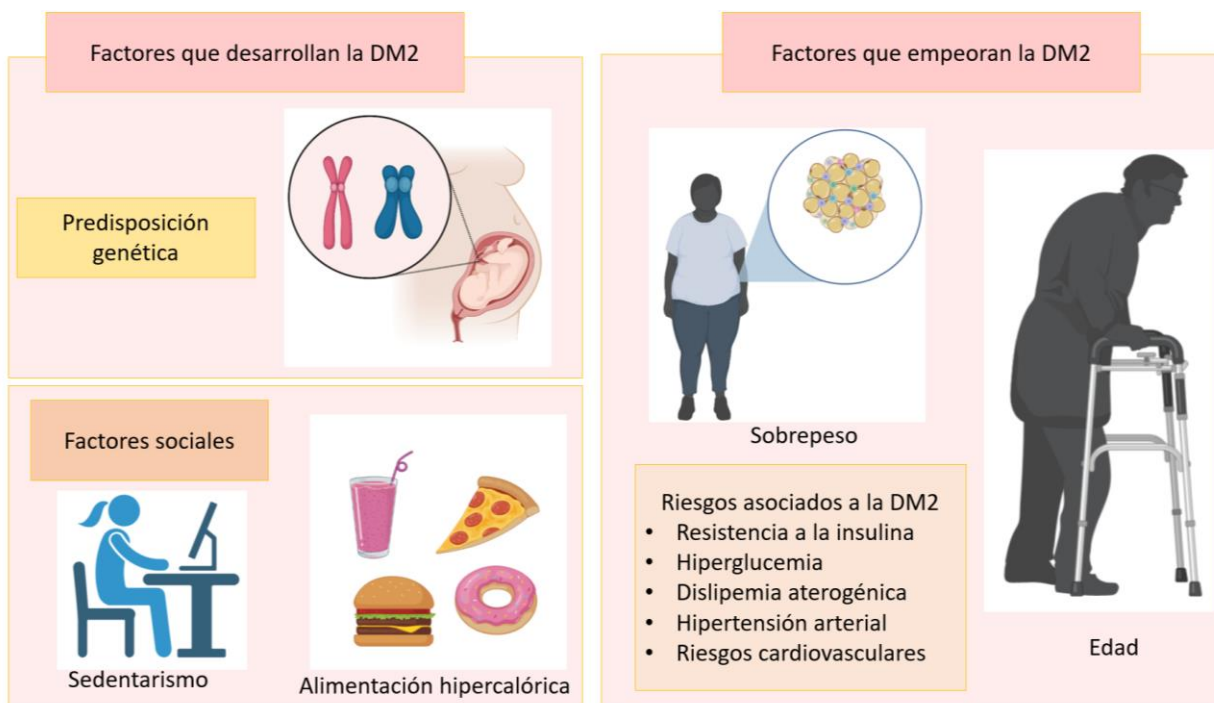
En el año 2012, se estimó que el 85.5 % de la población en México con diabetes recibe un tratamiento farmacológico para la DM2. Los resultados mostraban que la población con DM2, recibía un tratamiento a base de hipoglucemiantes orales (72.4 %) y otros pacientes recibían insulina exógena o en conjunto con hipoglucemiantes orales (13 %). Sin embargo, una parte fundamental en el tratamiento de la DM2 es llevar una dieta adecuada y realizar

actividad física. En este sentido, solo el 26.8 % de la población reconoció llevar una dieta y el 10.3 % haber realizado ejercicio como parte del tratamiento (Esparza-Romero, 2021).

La prevalencia de la DM2 en México y en Latinoamérica se debe en gran parte al cambio en la dieta de la población, la cual consiste en alimentos con alto contenido en azúcares y grasas (María De Los Ángeles Gutiérrez-Bernal y col., 2022). Sin embargo, existen otros factores ambientales y sociales que favorecen el desarrollo de la DM2.

## **2. Factores que favorecen la diabetes mellitus tipo 2 y efectos en la salud**

La DM2 es una enfermedad no transmisible por contacto o infección, sin embargo, existen diferentes factores genéticos, metabólicos y ambientales que favorecen su prevalencia (Galicia-García y col., 2020). La mayoría de los pacientes con DM2 se caracterizan por tener un gran porcentaje de grasa corporal. De manera que los principales factores que impulsan la prevalencia de la DM2 son el estilo de vida sedentario, las dietas hipercalóricas y el envejecimiento de la población, como se muestra en la **Figura 1** (Galicia-García y col., 2020). También la urbanización es un factor que repercute en el estilo de vida de las personas y en el desarrollo de enfermedades no transmisibles (Singh y col., 2019).



**Figura 1.** Factores que favorecen el desarrollo y la prevalencia de la DM2.

La obesidad está estrechamente ligada a la aparición de la DM2. La evidencia actual indica que la obesidad, en especial cuando ocurre una adiposidad visceral, favorece la aparición de la DM2. Además, cuando se aumenta de peso en una edad temprana también aumenta el riesgo de desarrollar DM2 (Herrera y col., 2018).

En cuanto a la globalización y el acceso a las nuevas tecnologías son otro de los factores que se relacionan con el desarrollo de la DM2 en edades tempranas. Esto es debido al cambio en el estilo de vida a uno sedentario y el consumo de alimentos no saludables, como las grasas saturadas, carbohidratos y un bajo consumo de fibra dietética.

### 3. Comorbilidades en pacientes con diabetes mellitus tipo 2

Como se ha mencionado antes, la DM2 está asociada a diversas complicaciones de salud. Esto se debe principalmente a las anomalías en el metabolismo de los nutrientes, como la

glucosa, las grasas y las proteínas. De manera general, los cambios en el metabolismo repercuten en el sistema inmunitario y puede desencadenar en la resistencia a la insulina, además en alteraciones del microbioma, la genética y la epigenética (Chen y col., 2022). También, existen comorbilidades que empeoran de manera drástica cuando el paciente está diagnosticado con DM2; en la **Tabla 1** se enlistan algunos problemas vasculares asociados a la DM2. En este aspecto, los pacientes con DM2 tienen un riesgo 2 veces mayor de desarrollar insuficiencia cardíaca, además de tener un mayor riesgo de hospitalización y de deceso (Cosmi y col., 2018; Lehrke y Marx, 2017). Por otro lado, existen padecimientos, tales como la enfermedad arterial periférica, que pone en riesgo las extremidades de los pacientes con DM2 (Barnes y col., 2020). Además, tener antecedentes familiares con DM2 puede influir en una mayor repercusión cuando ocurre un accidente cerebrovascular (Alharithy y col., 2018; Khursheed y col., 2019).

**Tabla 1.** Problemas vasculares asociados a DM2.

<b>MACROVASCULARES</b>	<b>MICROVASCULARES</b>
Infarto agudo al miocardio (Lee y col., 2021)	Neuropatía (Gibbons, 2017)
Insuficiencia cardíaca (Lehrke y Marx, 2017)	Nefropatía (Tesch, 2017)
Hipertensión sistémica (Ohishi, 2018)	Retinopatía (Zhu y col., 2018)
Enfermedad arterial periférica (Barnes y col., 2020)	Síndrome del pie diabético (Navarro-Flores y Cauli, 2020)
Accidente cerebrovascular (Alharithy y col., 2018)	

Existen otros factores de riesgo que contribuyen a la mortandad de los pacientes diagnosticados con DM2. En este contexto, el COVID-19 es un padecimiento que, hasta el 17 de octubre del 2022, ha cobrado la vida de más de 6.5 millones de personas (*WHO*, 2022). En diversos estudios se ha asociado una mayor mortandad en los pacientes diagnosticados con COVID-19 cuando tienen DM2, frente a los que no la tienen (Djuric y col., 2022; Santos y col., 2021; Woolcott y Castilla-Bancayán, 2021).

#### **4. Tratamientos para la diabetes mellitus tipo 2**

La DM2 es un trastorno complejo que requiere el esfuerzo combinado de distintos profesionistas de salud, de los pacientes y de sus familias. Dado que el control de la DM2 es complicado, se requiere un cambio en el estilo de vida, por lo que es necesario llevar un régimen adecuado en la dieta, la actividad física, la terapia médica y asistir a los controles médicos prescritos (Khursheed y col., 2019), como se ilustra en la **Figura 2**. También el descanso es un factor importante que influye en los niveles de energía y en el bienestar de las personas; por el contrario, la privación de sueño agrava la resistencia a la insulina y otras comorbilidades (Marín-Peñalver y col., 2016).



**Figura 2.** Cambios en el estilo de vida en pacientes con DM2.

#### **4.1. Tratamientos no farmacológicos.**

La pérdida de peso es el tratamiento principal para mejorar la calidad de vida de los pacientes diagnosticados con DM2. De manera que, para mejorar el control glucémico en pacientes con obesidad, es necesario reducir de un 5 al 10 % del peso corporal total (Hurtado y Collazo-Clavell, 2022). Sin embargo, el modificar el estilo de vida con ejercicio y llevar un adecuado control en la administración de sus medicamentos, es una meta difícil de lograr. Por este motivo, para lograr una pérdida de peso sostenida se puede recurrir a lo que se conoce como cirugías bariátricas. Comúnmente, se conocen 2 tipos de cirugía bariátrica: los procedimientos malabsortivos y los restrictivos. En el primero se restringe el paso de los alimentos por una parte del estómago y del intestino delgado, de ahí el nombre ya que ocurre una mala absorción de calorías y nutrientes, mientras que en el segundo se reduce el tamaño del estómago (Herrera y col., 2018).

#### **4.2. Tratamientos farmacológicos**

En el año de 1980, la organización mundial de la salud estableció los criterios de diagnóstico para la diabetes mellitus, desde entonces, la administración de alimentos y medicamentos de

los Estados Unidos de América ha aprobado 10 clases de medicamentos para el tratamiento de la DM2 (Perreault y col., 2021). Estos, deben de reducir los niveles glucémicos, además de evitar un riesgo cardiovascular. En la **Tabla 2** se muestran algunos medicamentos y la respuesta que generan en el organismo (Khursheed y col., 2019; Marín-Peñalver y col., 2016; Simos y col., 2021; Yakaryılmaz y Öztürk, 2017).

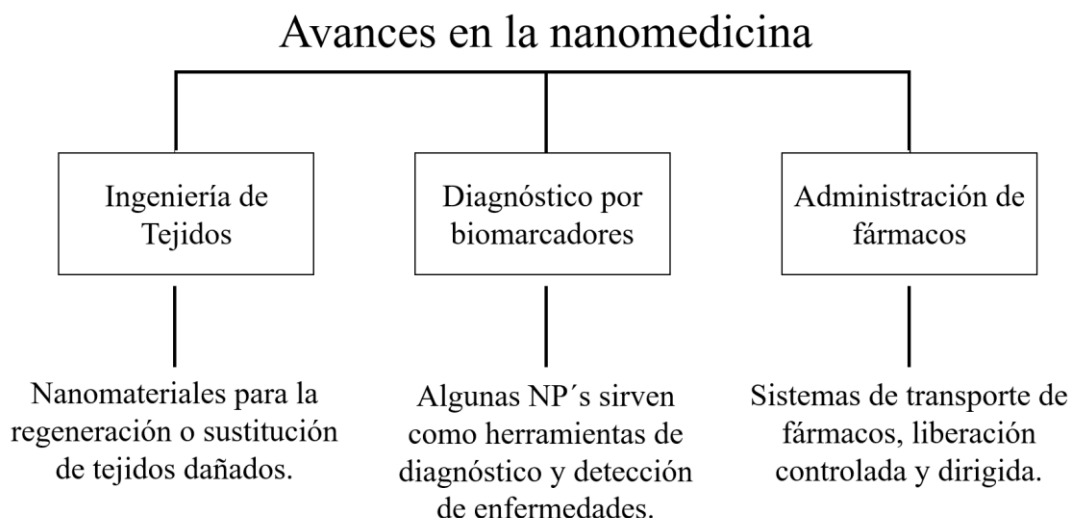
**Tabla 2.** Tipos de medicamentos aprobados como tratamiento para la DM2.

<b>TIPO DE MEDICAMENTO</b>	<b>MEDICAMENTO</b>	<b>APLICACIÓN PRINCIPAL</b>
Sensibilizadores de insulina	Metformina	Reduce la glucogénesis y la glucogenólisis hepática
	Tiazolidinedionas	Aumentan la sensibilidad de la insulina
Liberadores de insulina	Sulfonilureas	Inducen la liberación de insulina
	Meglitinidas	Aumentan la secreción de insulina
Inhibidores de alfa glucosidasa	Acarbosa, miglitol	Inhiben la absorción de carbohidratos
Inhibidores de dipeptidil peptidasa-4	Sitagliptina, metformina, linagliptina	Aumentan la secreción de insulina y retrasa el vaciado gástrico
Incretinmiméticos	Exenatida, byetta	Estimulan el páncreas para aumentar la secreción de insulina
Inhibidores del cotransportador de sodio-glucosa tipo 2	Canagliflocina, dapagliflozina, empagliflozina	Disminuye los niveles de glucosa plasmática
Terapia con insulina	Insulina y sus análogos (acción rápida, intermedia y prolongada)	Regula los niveles de glucosa en la sangre

Actualmente existen diferentes tratamientos para contrarrestar los efectos de la DM2 y la resistencia a la insulina. En particular, la administración de insulina exógena por vía subcutánea es uno de los tratamientos más recurridos. Sin embargo, las constantes inyecciones provocan dolor a los pacientes y existe el riesgo de infección (Shen y col., 2020; Y. Zhang y col., 2019). Por este motivo, se enfocan esfuerzos en el desarrollo de nuevos tratamientos que no involucren las inyecciones continuas de insulina, como la administración de esta por vía oral (Fonte y col., 2015). Los nuevos avances en la administración de insulina deben considerar su degradación con la temperatura y con los cambios de pH. Además, en la administración de insulina se presenta un gran reto, que es la permeación de esta a través de la pared celular debido al su alto peso molecular (5808 kDa), por lo que los estudios más recientes involucran la nanotecnología para desarrollar nuevas terapias.

## **5. El papel de la nanotecnología en los tratamientos de la DM2**

En la actualidad, los medios de administración de fármacos convencionales tienen limitaciones, tales como una dosificación inadecuada, disminución del efecto terapéutico y una pobre dirección al órgano específico (Kesharwani y col., 2018). Por este motivo, la nanotecnología tiene un papel importante en los tratamientos médicos actuales; las herramientas que proporcionan la nanotecnología sirven en la detección y en el diagnóstico de enfermedades, así como en la administración de fármacos (Y. He y col., 2021). El desarrollo de nanomateriales es una parte fundamental en la administración de fármacos, debido a que a menor tamaño de partícula mayor es el valor del área superficial específica y también es mayor la cantidad de sitios superficiales disponibles para la adsorción de moléculas o agentes activos. Por otra parte, la presencia de mesoporos en las nanopartículas (NP's) favorece el transporte de agentes activos (Li y col., 2022). Los nuevos avances de la nanotecnología se enfocan en el desarrollo de 3 distintos tipos de tratamientos, como se muestra en la **Figura 3**.



**Figura 3.** Avances en la medicina y tratamientos médicos actuales.

La nanotecnología aplicada en el campo de la medicina regenerativa ha tenido grandes avances, incluido en la regeneración de órganos y tejidos dañados a causa de la diabetes mellitus (Li y col., 2022). En México, se han realizado estudios con nanogel de Cu/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> para el tratamiento de úlceras de pie diabético (López-Goerne y col., 2019, 2020). Algunas terapias para la diabetes mellitus tipo 1, se encuentran en fase experimental con un éxito variable, un ejemplo son las que utilizan nano-transportadores para trasplantar células de islotes pancreáticos alogénicos y mejorar la secreción de insulina (Dinnyes y col., 2020; Ito y col., 2017; Vega y col., 2010). Además, se han logrado avances en el desarrollo de dispositivos eléctricos y ópticos para la detección de los niveles de glucosa en la sangre. Los dispositivos eléctricos utilizan un mecanismo de reducción con peróxido de hidrógeno, lo que genera una señal medible, como un cambio en la fluorescencia o un cambio en la corriente eléctrica. Además, las mejoras en los sensores de detección incluyen la mejora de fluorescencia con nanotubos de carbono, una mayor actividad catalítica usando grafeno y nanotubos de carbono, catálisis usando NP's de oro y una mejor modulación de la

conductividad usando nanopartículas (Disanto y col., 2015). En las investigaciones médicas modernas se realizan esfuerzos en el desarrollo de nanomateriales y nanodispositivos que mejoren la eficacia de los tratamientos antidiabéticos (Y. He y col., 2021; Simos y col., 2021).

### 5.1. Aplicación de nanomateriales en la administración de fármacos para el tratamiento de la diabetes mellitus tipo 2

Los estudios recientes en la administración de fármacos como tratamiento de la DM2 se basan en el desarrollo de nanomateriales que sirvan como un nanovehículo para proteger el principio activo (Bahman y col., 2019; Gupta, 2017). En otros estudios analizan la farmacocinética del principio activo y optimizan la liberación de estos (Simos y col., 2021). Así mismo, existen diferentes medios de administración y distintos nanomateriales que sirven como vehículo. En la **Tabla 3** se muestran algunos materiales usados en la administración de insulina. Es de destacar que los más usados son los biodegradables, como el quitosano, el polivinilalcohol (PVA) y el polietilenglicol (PEG). Además, los estudios más recientes se enfocan en el desarrollo de nanovehículos como medio de administración oral, esto por sus ventajas en la aplicación (Abeer y col., 2019).

**Tabla 3.** Vías de administración de insulina y nanomateriales empleados como vehículo.

#### INSULINA SUBCUTÁNEA Y TRANSDÉRMICA

VENTAJAS	Desventajas	Nanomateriales	Referencia
<b>LA INSULINA SE ADMINISTRA EN LA CAPA DE GRASA MENOS VASCULARIZADA, POR LO QUE LA</b>	Fallas de administración.	Poli isobutilcianoacrilato	(Mesiha y col., 2005)
		$\text{CaCO}_3$	(Higaki y col., 2006)
	Inflamación e infección en la	Quitosano – ácido poli- $\gamma$ -glutámico	(Sonaje y col., 2010)

<b>ABSORCIÓN ES LENTA.</b>	zona de inyección.	Polietilenglicol – $\epsilon$ -caprolactona	(Rastogi y col., 2010)
		Oro recubierto con polietilenglicol	(Shilo y col., 2015)
		Polietilenglicol – poliácido (láctico-glicólico)	(Saravanan y col., 2017)
		Ácido poli láctico-co-glicólico	(Abdelkader y col., 2018)
		Quitosano – alginato	(Heidarisan y col., 2018)
		Ácido cítrico – quitosano - ftalato de hidroxipropilmetilcelulosa	(Z. Zhang y col., 2018)
		Poliácido fenilborónico acrilamido / alginato de sodio	(Chai y col., 2020)
		Quitosano, alginato, albúmina y plurónico	(Hadiya y col., 2020)
<b>INSULINA INTRANASAL Y PULMONAR</b>			
<b>VENTAJAS</b>	Desventajas	Nanomateriales	Referencias
<b>LA MUCOSA TIENE UNA ALTA DENSIDAD DE REDES VASCULARES, PROMUEVE EL TRANSPORTE DE PROTEÍNAS AL SISTEMA CIRCULATORIO.</b>	Infiltración.  Degradación enzimática.	Polibutilcianoacrilato	(Q. Zhang y col., 2001)
		Oro y oro recubierto con ácido aspártico	(Joshi y col., 2006)
		Oro – quitosano	(Bhumkar y col., 2007)
		Quitosano – polietilenglicol	(X. Zhang y col., 2008)
		Quitosano / N-acetil-L-cisteína	(Wang y col., 2009)
		Gelatina/D,L-gliceraldehído/poloxamer 188	(Zhao y col., 2011)

		Polietilenglicol – poliácido co-glucólico láctico	(Dwivedi y col., 2013)
		Quitosano – polivinil alcohol	(Rajabnezhad, 2017)
		Dextrano – ácido fenilborónico	(Wei y col., 2020)

### INSULINA VÍA ORAL

VENTAJAS	Desventajas	Nanomateriales	Referencias	
<b>ES EL MEDIO MÁS ADECUADO COMO VÍA DE ADMINISTRACIÓN</b>	La biodisponibilidad de la insulina es menor al 10 %.	Selenio – quitosano	(Deng y col., 2017)	
		L-penetratina – ácido hialurónico	(Z. He y col., 2018)	
		Sílica	(Tan y col., 2018)	
		Aciriloil - dextrano	(Jamwal y col., 2019)	
		Lípidos nanoestructurados	(Muntoni y col., 2019)	
	Alrededor del 0.5 % entra al sistema circulatorio.	Degradación enzimática y baja permeabilidad en el intestino.	Zeína con polí (anhidrido)-tiamina	(Inchaurraga y col., 2020)
			Quitosano tiolado	(Sudhakar y col., 2020)
			Mucina – quitosano	(Mumuni y col., 2020)
			Sílice mesoporosa – PLA/PGE	(Tan y col., 2020)
			Zeína/caseína – dextrano poliácido co-glucólico láctico	(Bao y col., 2021) (Pang y col., 2023)

## 6. Conclusiones

La diabetes en México es un problema social y económico, que afecta a las personas que la padecen y a sus familias, además, el estilo de vida sedentario provoca una mayor prevalencia de la enfermedad en el país. El tratamiento de la diabetes debe considerar un cambio radical en el estilo de vida de los pacientes, de manera que el ejercicio y una dieta controlada son dos pasos fundamentales en el control de esta enfermedad; además, es necesario un monitoreo constante de la glucosa en la sangre y de la presión arterial en casa. También, es necesario recurrir a un grupo de profesionales que ayuden en el monitoreo de la enfermedad, acudir a citas frecuentes y tomar el medicamento recetado. En años recientes, la nanotecnología ha surgido como una herramienta para ayudar en los tratamientos farmacológicos para el control de la diabetes. Los avances en el desarrollo de nano-vehículos se proponen eliminar los tratamientos farmacológicos a base de inyecciones, que resultan ser dolorosos, y a pesar de que muchos materiales se encuentran en fases experimentales, las terapias basadas en nanomateriales pretenden mejorar la calidad de vida de los pacientes diagnosticados con diabetes.

### **Agradecimientos:**

José Ramón García Torres agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada para los estudios de doctorado con número 833555.

### **Referencias**

- Abdelkader, D. H., El-Gizawy, S. A., Faheem, A. M., McCarron, P. A., & Osman, M. A. (2018). Effect of process variables on formulation, in-vitro characterisation and subcutaneous delivery of insulin PLGA nanoparticles: An optimisation study. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 43: 160–171. <https://doi.org/10.1016/J.JDDST.2017.10.004>
- Abeer, M. M., Meka, A. K., Pujara, N., Kumeria, T., Strounina, E., Nunes, R., Costa, A., Sarmiento, B., Hasnain, S. Z., Ross, B. P., & Popat, A. (2019). Rationally Designed

- Dendritic Silica Nanoparticles for Oral Delivery of Exenatide. *Pharmaceutics*, 11(8): 418. <https://doi.org/10.3390/PHARMACEUTICS11080418>
- Alharithy, M. K., Alobaylan, M. M., Alsugair, Z. O., & Alswat, K. A. (2018). Impact of Family History of Diabetes on Diabetes Control and Complications. *Endocrine Practice*, 24(9): 773–779. <https://doi.org/10.4158/EP-2018-0071>
- Bahman, F., Greish, K., & Taurin, S. (2019). Nanotechnology in Insulin Delivery for Management of Diabetes. *Pharmaceutical Nanotechnology*, 7(2): 113–128. <https://doi.org/10.2174/2211738507666190321110721>
- Bao, X., Qian, K., & Yao, P. (2021). Insulin- and cholic acid-loaded zein/casein–dextran nanoparticles enhance the oral absorption and hypoglycemic effect of insulin. *Journal of Materials Chemistry B*, 9(31): 6234–6245. <https://doi.org/10.1039/D1TB00806D>
- Barnes, J. A., Eid, M. A., Creager, M. A., & Goodney, P. P. (2020). Epidemiology and Risk of Amputation in Patients With Diabetes Mellitus and Peripheral Artery Disease. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 40(8): 1808–1817. <https://doi.org/10.1161/ATVBAHA.120.314595>
- Bellary, S., Kyrou, I., Brown, J. E., & Bailey, C. J. (2021). Type 2 diabetes mellitus in older adults: clinical considerations and management. *Nature Reviews Endocrinology*, 17(9): 534–548. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00512-2>
- Bello-Chavolla, O. Y., Rojas-Martinez, R., Aguilar-Salinas, C. A., & Hernández-Avila, M. (2017). Epidemiology of diabetes mellitus in Mexico. *Nutrition Reviews*, 75(1): 4–12. <https://doi.org/10.1093/NUTRIT/NUW030>
- Bhumkar, D. R., Joshi, H. M., Sastry, M., & Pokharkar, V. B. (2007). Chitosan Reduced Gold Nanoparticles as Novel Carriers for Transmucosal Delivery of Insulin. *Pharmaceutical Research*, 24(8): 1415–1426. <https://doi.org/10.1007/S11095-007-9257-9>

- Chai, Z., Dong, H., Sun, X., Fan, Y., Wang, Y., & Huang, F. (2020). Development of glucose oxidase-immobilized alginate nanoparticles for enhanced glucose-triggered insulin delivery in diabetic mice. *International Journal of Biological Macromolecules*, 159: 640–647. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.05.097>
- Chen, D., Fulcher, J., Scott, E. S., & Jenkins, A. J. (2022). Precision Medicine Approaches for Management of Type 2 Diabetes. *Precision Medicine in Diabetes*, 1–52. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98927-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98927-9_1)
- Cosmi, F., Shen, L., Magnoli, M., Abraham, W. T., Anand, I. S., Cleland, J. G., Cohn, J. N., Cosmi, D., de Berardis, G., Dickstein, K., Franzosi, M. G., Gullestad, L., Jhund, P. S., Kjekshus, J., Køber, L., Lepore, V., Lucisano, G., Maggioni, A. P., Masson, S., ... Latini, R. (2018). Treatment with insulin is associated with worse outcome in patients with chronic heart failure and diabetes. *European Journal of Heart Failure*, 20(5): 888–895. <https://doi.org/10.1002/EJHF.1146>
- Courtney, C. H., & Olefsky, J. M. (2007). Insulin resistance. *Mechanisms of Insulin Action: Medical Intelligence Unit*, 185–209. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-72204-7\\_10/COVER](https://doi.org/10.1007/978-0-387-72204-7_10/COVER)
- Deng, W., Xie, Q., Wang, H., Ma, Z., Wu, B., & Zhang, X. (2017). Selenium nanoparticles as versatile carriers for oral delivery of insulin: Insight into the synergic antidiabetic effect and mechanism. *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*, 13(6): 1965–1974. <https://doi.org/10.1016/J.NANO.2017.05.002>
- Dinnyes, A., Schnur, A., Muenthaisong, S., Bartenstein, P., Burcez, C. T., Burton, N., Cyran, C., Gianello, P., Kemter, E., Nemeth, G., Nicotra, F., Prepost, E., Qiu, Y., Russo, L., Wirth, A., Wolf, E., Ziegler, S., & Kobolak, J. (2020). Integration of nano- and biotechnology for beta-cell and islet transplantation in type-1 diabetes treatment. *Cell Proliferation*, 53(5): e12785. <https://doi.org/10.1111/CPR.12785>

- Disanto, R. M., Subramanian, V., & Gu, Z. (2015). Recent advances in nanotechnology for diabetes treatment. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 7(4): 548–564. <https://doi.org/10.1002/WNAN.1329>
- Djuric, O., Ottone, M., Vicentini, M., Venturelli, F., Pezzarossi, A., Manicardi, V., Greci, M., & Giorgi Rossi, P. (2022). Diabetes and COVID-19 testing, positivity, and mortality: A population-wide study in Northern Italy. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 191: 110051. <https://doi.org/10.1016/J.DIABRES.2022.110051>
- Dwivedi, P., Kumar Tekade, R., & Kumar Jain, N. (2013). Nanoparticulate Carrier Mediated Intranasal Delivery of Insulin for the Restoration of Memory Signaling in Alzheimer's Disease. *Current Nanoscience*, 9(1): 46–55. <https://doi.org/10.2174/157341313805117983>
- Esparza-Romero, J. (2021). Prevalencia y factores asociados a diabetes mellitus tipo 2 en población indígena de México: revisión sistemática. *Revista Médica Del Instituto Mexicano Del Seguro Social*, 58(3): 317-327. <https://doi.org/10.24875/rmimss.m20000036>
- Fonte, P., Araújo, F., Silva, C., Pereira, C., Reis, S., Santos, H. A., & Sarmiento, B. (2015). Polymer-based nanoparticles for oral insulin delivery: Revisited approaches. *Biotechnology Advances*, 33(6): 1342–1354. <https://doi.org/10.1016/J.BIOTECHADV.2015.02.010>
- Galicia-Garcia, U., Benito-Vicente, A., Jebari, S., Larrea-Sebal, A., Siddiqi, H., Uribe, K. B., Ostolaza, H., & Martín, C. (2020). Pathophysiology of Type 2 Diabetes Mellitus. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(17): 6275. <https://doi.org/10.3390/IJMS21176275>
- Gibbons, C. H. (2017). Treatment-Induced Neuropathy of Diabetes. *Current Diabetes Reports*, 17(12): 1–6. <https://doi.org/10.1007/S11892-017-0960-6>

- Gómez-Peralta, F., Abreu, C., Cos, X., & Gómez-Huelgas, R. (2020). ¿Cuándo empieza la diabetes? Detección e intervención tempranas en diabetes mellitus tipo 2. *Revista Clínica Española*, 220(5): 305–314. <https://doi.org/10.1016/J.RCE.2019.12.003>
- Gupta, R. (2017). Diabetes Treatment by Nanotechnology. *Journal of Biotechnology & Biomaterials*, 7: 268. <https://doi.org/10.4172/2155-952x.1000268>
- Hadiya, S., Radwan, R., Zakaria, M., El-Sherif, T., Hamad, M. A., & Elsabahy, M. (2020). Nanoparticles integrating natural and synthetic polymers for in vivo insulin delivery. *Https://Doi.Org/10.1080/10837450.2020.1832117*, 26(1): 30–40. <https://doi.org/10.1080/10837450.2020.1832117>
- He, Y., Al-Mureish, A., & Wu, N. (2021). Nanotechnology in the Treatment of Diabetic Complications: A Comprehensive Narrative Review. *Journal of Diabetes Research*, 2021: 6612063. <https://doi.org/10.1155/2021/6612063>
- He, Z., Liu, Z., Tian, H., Hu, Y., Liu, L., Leong, K. W., Mao, H. Q., & Chen, Y. (2018). Scalable production of core–shell nanoparticles by flash nanocomplexation to enhance mucosal transport for oral delivery of insulin. *Nanoscale*, 10(7): 3307–3319. <https://doi.org/10.1039/C7NR08047F>
- Heidarisan, S., Ziamajidi, N., Karimi, J., & Abbasalipourkibir, R. (2018). Effects of insulin-loaded chitosan-alginate nanoparticles on RAGE expression and oxidative stress status in the kidney tissue of rats with type 1 diabetes. *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 21(10): 1035. <https://doi.org/10.22038/IJBMS.2018.28463.6899>
- Herrera, M. F., García-García, E., Arellano-Ramos, J. F., Madero, M. A., Aldrete-Velasco, J. A., & Corvalá, J. A. L. (2018). Metabolic Surgery for the Treatment of Diabetes Mellitus Positioning of Leading Medical Associations in Mexico. *Obesity Surgery*, 28(11): 3474–3483. <https://doi.org/10.1007/S11695-018-3357-Y/TABLES/7>
- Higaki, M., Kameyama, M., Udagawa, M., Ueno, Y., Yamaguchi, Y., Igarashi, R., Ishihara, T., & Mizushima, Y. (2006). Transdermal Delivery of CaCO<sub>3</sub>-Nanoparticles

- Containing Insulin. *Https://Home.Liebertpub.Com/Dia*, 8(3): 369–374.  
<https://doi.org/10.1089/DIA.2006.8.369>
- Hurtado, A. , M. D., & Collazo-Clavell, M. (2022). Surgical Management for Diabetes Remission. *Precision Medicine in Diabetes*, 217–231. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-98927-9\\_11](https://doi.org/10.1007/978-3-030-98927-9_11)
- IDF DIABETES ATLAS*. (2021). IDF DIABETES ATLAS; International Diabetes Federation. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK581934/>
- Inchaurraga, L., Martínez-López, A. L., Martin-Arbella, N., & Irache, J. M. (2020). Zein-based nanoparticles for the oral delivery of insulin. *Drug Delivery and Translational Research*, 10(6): 1601–1611. <https://doi.org/10.1007/S13346-020-00796-3>
- Ito, K., Ookawara, S., Ishibashi, K., Morishita, Y., & Seifalian, A. (2017). Transgene and islet cell delivery systems using nano-sized carriers for the treatment of diabetes mellitus, 8(1): 1341758. <https://doi.org/10.1080/20022727.2017.1341758>
- Jamwal, S., Ram, B., Ranote, S., Dharela, R., & Chauhan, G. S. (2019). New glucose oxidase-immobilized stimuli-responsive dextran nanoparticles for insulin delivery. *International Journal of Biological Macromolecules*, 123: 968–978. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2018.11.147>
- Joshi, H. M., Bhumkar, D. R., Joshi, K., Pokharkar, V., & Sastry, M. (2006). Gold nanoparticles as carriers for efficient transmucosal insulin delivery. *Langmuir*, 22(1): 300–305.  
<https://doi.org/10.1021/LA051982U/ASSET/IMAGES/MEDIUM/LA051982UN00001.GIF>
- Kesharwani, P., Gorain, B., Low, S. Y., Tan, S. A., Ling, E. C. S., Lim, Y. K., Chin, C. M., Lee, P. Y., Lee, C. M., Ooi, C. H., Choudhury, H., & Pandey, M. (2018). Nanotechnology based approaches for anti-diabetic drugs delivery. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 136: 52–77. <https://doi.org/10.1016/J.DIABRES.2017.11.018>

- Khursheed, R., Singh, S. K., Wadhwa, S., Kapoor, B., Gulati, M., Kumar, R., Ramanunny, A. K., Awasthi, A., & Dua, K. (2019). Treatment strategies against diabetes: Success so far and challenges ahead. *European Journal of Pharmacology*, 862: 172625. <https://doi.org/10.1016/J.EJPHAR.2019.172625>
- Lee, S., Zhou, J., Guo, C. L., Wong, W. T., Liu, T., Wong, I. C. K., Jeevaratnam, K., Zhang, Q., & Tse, G. (2021). Predictive scores for identifying patients with type 2 diabetes mellitus at risk of acute myocardial infarction and sudden cardiac death. *Endocrinology, Diabetes & Metabolism*, 4(3): e00240. <https://doi.org/10.1002/EDM2.240>
- Lehrke, M., & Marx, N. (2017). Diabetes Mellitus and Heart Failure. *The American Journal of Cardiology*, 120(1): S37–S47. <https://doi.org/10.1016/J.AMJCARD.2017.05.014>
- Li, D., Liu, Y., & Wu, N. (2022). Application progress of nanotechnology in regenerative medicine of diabetes mellitus. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 190: 109966. <https://doi.org/10.1016/J.DIABRES.2022.109966>
- López-Goerne, T., Padilla-Godínez, F. J., Pérez-Dávalos, L., Ramírez-Olivares, P., & Arellano, D. (2020). Nanobiocatalysts: Cu/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Nanoparticles as Tissue-Regeneration Treatment for Diabetic Foot Ulcers: In Vivo Studies. *Current Biotechnology*, 9(3): 230–239. <https://doi.org/10.2174/2211550109999201026085353>
- López-Goerne, T., Ramírez-Olivares, P., Pérez-Dávalos, L. A., Velázquez-Muñoz, J. A., & Reyes-González, J. (2019). Catalytic Nanomedicine. Cu/TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> Nanoparticles as Treatment of Diabetic Foot Ulcer: A Case Report. *Current Nanomedicine*, 10(3): 290–295. <https://doi.org/10.2174/2468187309666190906121924>
- María De Los Ángeles Gutiérrez-Bernal, W., Berenice Hernández-Miranda, M., & Daniel Godínez-Tamay, E. (2022). Hábitos dietéticos en un grupo pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2 del Estado de México *Archivos En Medicina Familiar*, 24(3): 171-175.

- Marín-Peñalver, J. J., Martín-Timón, I., Sevillano-Collantes, C., & Cañizo-Gómez, F. J. del. (2016). Update on the treatment of type 2 diabetes mellitus. *World Journal of Diabetes*, 7(17): 354. <https://doi.org/10.4239/WJD.V7.I17.354>
- Mesiha, M. S., Sidhom, M. B., & Fasipe, B. (2005). Oral and subcutaneous absorption of insulin poly(isobutylcyanoacrylate) nanoparticles. *International Journal of Pharmaceutics*, 288(2): 289–293. <https://doi.org/10.1016/J.IJPHARM.2004.10.003>
- Mumuni, M. A., Kenechukwu, F. C., Ofokansi, K. C., Attama, A. A., & Díaz, D. D. (2020). Insulin-loaded mucoadhesive nanoparticles based on mucin-chitosan complexes for oral delivery and diabetes treatment. *Carbohydrate Polymers*, 229: 115506. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2019.115506>
- Muntoni, E., Marini, E., Ahmadi, N., Milla, P., Ghè, C., Bargoni, A., Capucchio, M. T., Biasibetti, E., & Battaglia, L. (2019). Lipid nanoparticles as vehicles for oral delivery of insulin and insulin analogs: preliminary ex vivo and in vivo studies. *Acta Diabetologica*, 56(12): 1283–1292. <https://doi.org/10.1007/S00592-019-01403-9>
- Navarro-Flores, E., & Cauli, O. (2020). Quality of Life in Individuals with Diabetic Foot Syndrome. *Endocrine, Metabolic & Immune Disorders - Drug Targets*, 20(9): 1365–1372. <https://doi.org/10.2174/1871530320666200128154036>
- O. Vera-Cruz, A. (2021). *Generación, movilización y uso del conocimiento en diabetes mellitus 2 en México* (1st ed., Vol. 1). <http://dcsh.xoc.uam.mx/repdig/index.php/libros-dcsh/produccion-economica/item/471-generacion-movilizacion-y-uso-del-conocimiento-en-diabetes-mellitus-2-en-mexico>
- Ohishi, M. (2018). Hypertension with diabetes mellitus: physiology and pathology. *Hypertension Research*, 41(6): 389–393. <https://doi.org/10.1038/s41440-018-0034-4>
- Pang, H., Huang, X., Xu, Z. P., Chen, C., & Han, F. Y. (2023). Progress in oral insulin delivery by PLGA nanoparticles for the management of diabetes. *Drug Discovery Today*, 28(1): 103393. <https://doi.org/10.1016/J.DRUDIS.2022.103393>

- Perreault, L., Skyler, J. S., & Rosenstock, J. (2021). Novel therapies with precision mechanisms for type 2 diabetes mellitus. *Nature Reviews Endocrinology*, *17*(6): 364–377. <https://doi.org/10.1038/s41574-021-00489-y>
- Rajabnezhad, S. (2017). Mucoadhesive Microspheres of Chitosan and Polyvinyl Alcohol as A Carrier for Intranasal Delivery of Insulin: In Vitro and In Vivo Studies. *MOJ Bioequiv Availab*, *3*(2): 39-45. <https://doi.org/10.15406/mojbb.2017.03.00030>
- Rastogi, R., Anand, S., & Koul, V. (2010). Electroporation of polymeric nanoparticles: an alternative technique for transdermal delivery of insulin. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, *36*(11): 1303–1311. <https://doi.org/10.3109/03639041003786193>
- Santos, A., Magro, D. O., Evangelista-Poderoso, R., & Saad, M. J. A. (2021). Diabetes, obesity, and insulin resistance in COVID-19: molecular interrelationship and therapeutic implications. *Diabetology and Metabolic Syndrome*, *13*(1): 1–14. <https://doi.org/10.1186/S13098-021-00639-2/FIGURES/6>
- Saravanan, S. S., Malathi, M. S., P.S.L., S., Selvasubramanian, S. S., Balasubramanian, B. S., & Pandiyan, P. v. (2017). Hydrophilic poly (ethylene glycol) capped poly (lactic-co-glycolic) acid nanoparticles for subcutaneous delivery of insulin in diabetic rats. *International Journal of Biological Macromolecules*, *95*: 1190–1198. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2016.11.009>
- Shen, D., Yu, H., Wang, L., Khan, A., Haq, F., Chen, X., Huang, Q., & Teng, L. (2020). Recent progress in design and preparation of glucose-responsive insulin delivery systems. *Journal of Controlled Release*, *321*: 236–258. <https://doi.org/10.1016/J.JCONREL.2020.02.014>
- Shilo, M., Berenstein, P., Dreifuss, T., Nash, Y., Goldsmith, G., Kazimirsky, G., Motiei, M., Frenkel, D., Brodie, C., & Popovtzer, R. (2015). Insulin-coated gold nanoparticles as a new concept for personalized and adjustable glucose regulation. *Nanoscale*, *7*(48): 20489–20496. <https://doi.org/10.1039/C5NR04881H>

- Simos, Y. v., Spyrou, K., Patila, M., Karouta, N., Stamatis, H., Gournis, D., Dounousi, E., & Peschos, D. (2021). Trends of nanotechnology in type 2 diabetes mellitus treatment. *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, *16*(1): 62–76. <https://doi.org/10.1016/J.AJPS.2020.05.001>
- Singh, R., Kazmi, I., Afzal, M., Imam, F., & Alharbi, K. S. (2019). Dietary phytochemicals and their potential effects on diabetes mellitus 2. *Plant and Human Health: Pharmacology and Therapeutic Uses*, *3*: 65–86. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-04408-4\\_4/COVER](https://doi.org/10.1007/978-3-030-04408-4_4/COVER)
- Sonaje, K., Lin, K. J., Wey, S. P., Lin, C. K., Yeh, T. H., Nguyen, H. N., Hsu, C. W., Yen, T. C., Juang, J. H., & Sung, H. W. (2010). Biodistribution, pharmacodynamics and pharmacokinetics of insulin analogues in a rat model: Oral delivery using pH-Responsive nanoparticles vs. subcutaneous injection. *Biomaterials*, *31*(26): 6849–6858. <https://doi.org/10.1016/J.BIOMATERIALS.2010.05.042>
- Sudhakar, S., Chandran, S. V., Selvamurugan, N., & Nazeer, R. A. (2020). Biodistribution and pharmacokinetics of thiolated chitosan nanoparticles for oral delivery of insulin in vivo. *International Journal of Biological Macromolecules*, *150*: 281–288. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2020.02.079>
- Tan, X., Liu, X., Zhang, Y., Zhang, H., Lin, X., Pu, C., Gou, J., He, H., Yin, T., Zhang, Y., & Tang, X. (2018). Silica nanoparticles on the oral delivery of insulin. *Journal of Drug Targeting*, *15*(8): 805–820. <https://doi.org/10.1080/17425247.2018.1503250>
- Tan, X., Yin, N., Liu, Z., Sun, R., Gou, J., Yin, T., Zhang, Y., He, H., & Tang, X. (2020). Hydrophilic and Electroneutral Nanoparticles to Overcome Mucus Trapping and Enhance Oral Delivery of Insulin. *Molecular Pharmaceutics*, *17*(9): 3177–3191. [https://doi.org/10.1021/ACS.MOLPHARMACEUT.0C00223/SUPPL\\_FILE/MP0C00223\\_SI\\_001](https://doi.org/10.1021/ACS.MOLPHARMACEUT.0C00223/SUPPL_FILE/MP0C00223_SI_001)

- Tesch, G. H. (2017). Diabetic nephropathy – is this an immune disorder? *Clinical Science*, *131*(16): 2183–2199. <https://doi.org/10.1042/CS20160636>
- Vega, R. A., Wang, Y., Harvat, T., Wang, S., Qi, M., Adewola, A. F., Lee, D., Benedetti, E., & Oberholzer, J. (2010). Modified gold nanoparticle vectors: A biocompatible intracellular delivery system for pancreatic islet cell transplantation. *Surgery*, *148*(4): 858–866. <https://doi.org/10.1016/J.SURG.2010.07.036>
- Wang, X., Zheng, C., Wu, Z., Teng, D., Zhang, X., Wang, Z., & Li, C. (2009). Chitosan-NAC nanoparticles as a vehicle for nasal absorption enhancement of insulin. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, *88*(1): 150–161. <https://doi.org/10.1002/JBM.B.31161>
- Wei, X., Duan, X., Zhang, Y., Ma, Z., Li, C., & Zhang, X. (2020). Internalization Mechanism of Phenylboronic-Acid-Decorated Nanoplatform for Enhanced Nasal Insulin Delivery. *ACS Applied Bio Materials*, *3*(4): 2132–2139. [https://doi.org/10.1021/ACSABM.0C00002/SUPPL\\_FILE/MT0C00002\\_SI\\_001.PDF](https://doi.org/10.1021/ACSABM.0C00002/SUPPL_FILE/MT0C00002_SI_001.PDF)
- WHO. (2022, October 18). WHO. World Health Organization. “WHO Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard.”. <https://covid19.who.int/>
- Woolcott, O. O., & Castilla-Bancayán, J. P. (2021). The effect of age on the association between diabetes and mortality in adult patients with COVID-19 in Mexico. *Scientific Reports*, *11*(1): 1–10. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88014-z>
- Yakaryılmaz, F. D., & Öztürk, Z. A. (2017). Treatment of type 2 diabetes mellitus in the elderly. *World Journal of Diabetes*, *8*(6): 278. <https://doi.org/10.4239/WJD.V8.I6.278>
- Zhang, Q., Shen, Z., & Nagai, T. (2001). Prolonged hypoglycemic effect of insulin-loaded polybutylcyanoacrylate nanoparticles after pulmonary administration to normal rats. *International Journal of Pharmaceutics*, *218*(1–2): 75–80. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(01\)00614-7](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00614-7)

- Zhang, X., Zhang, H., Wu, Z., Wang, Z., Niu, H., & Li, C. (2008). Nasal absorption enhancement of insulin using PEG-grafted chitosan nanoparticles. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 68(3): 526–534.  
<https://doi.org/10.1016/J.EJPB.2007.08.009>
- Zhang, Y., Yu, J., Kahkoska, A. R., Wang, J., Buse, J. B., & Gu, Z. (2019). Advances in transdermal insulin delivery. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 139: 51–70.  
<https://doi.org/10.1016/J.ADDR.2018.12.006>
- Zhang, Z., Li, H., Xu, G., & Yao, P. (2018). Liver-targeted delivery of insulin-loaded nanoparticles via enterohepatic circulation of bile acids. *Drug Delivery*, 25(1): 1224–1233.  
[https://doi.org/10.1080/10717544.2018.1469685/SUPPL\\_FILE/IDRD\\_A\\_1469685\\_S M3189.DOCX](https://doi.org/10.1080/10717544.2018.1469685/SUPPL_FILE/IDRD_A_1469685_S M3189.DOCX)
- Zhao, Y. Z., Li, X., Lu, C. T., Xu, Y. Y., Lv, H. F., Dai, D. D., Zhang, L., Sun, C. Z., Yang, W., Li, X. K., Zhao, Y. P., Fu, H. X., Cai, L., Lin, M., Chen, L. J., & Zhang, M. (2011). Experiment on the feasibility of using modified gelatin nanoparticles as insulin pulmonary administration system for diabetes therapy. *Acta Diabetologica*, 49(4): 315–325. <https://doi.org/10.1007/S00592-011-0356-Z>
- Zhu, W., Wu, Y., Meng, Y. F., Xing, Q., Tao, J. J., & Lu, J. (2018). Association of obesity and risk of diabetic retinopathy in diabetes patients: A meta-analysis of prospective cohort studies. *Medicine*, 97(32): e11807.  
<https://doi.org/10.1097/MD.00000000000011807>

**Cambios en la dinámica de los flujos migratorios mexicano y  
centroamericanos hacia Estados Unidos, 2014-2022.**

**Changes in the dynamics of mexican and central american  
migration flows to the United States, 2014-2022.**

Juan Parra Ávila, Felipe Javier Uribe-Salas, Juan Felipe Mayo Carrillo  
El Colegio de la Frontera Norte, Calle Jalisco 1505, Colonia Nísperos, C.P. 26020,  
Piedras Negras, Coahuila, México.

Correspondencia: Felipe J. Uribe Salas, El Colegio de la Frontera Norte.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9859-5775>

Teléfono: 878 782 7207

E-mail: [fjuribe@colef.mx](mailto:fjuribe@colef.mx)

## Resumen

Las migraciones mexicana y centroamericana han tenido variaciones en sus magnitudes y modalidades en lo que va del siglo XXI. Para México hubo caídas en los flujos migratorios hacia Estados Unidos a partir de 2008, incrementándose también los movimientos de retorno de ese país hacia México. La migración centroamericana con dirección hacia Estados Unidos, a través de México, ha aumentado en los últimos 10 años. Este trabajo tiene por objeto contrastar los cambios en las magnitudes y composición de los movimientos de migrantes mexicanos y centroamericanos asegurados por la patrulla fronteriza de Estados Unidos en el periodo 2014-2022. Se revisó la literatura sobre la migración mexicana y centroamericana hacia Estados Unidos en lo que va de este siglo, así como la página electrónica de la *U.S. Customs and Border Protection (CBP)* para documentar las características de las detenciones. Para los migrantes mexicanos las detenciones fueron el doble de las centroamericanas para las personas que viajan solas. En contraste, el promedio de detenciones de unidades familiares fue 23 veces mayor para las personas de origen centroamericano respecto de las de origen mexicano. Finalmente, las detenciones de los niños migrantes no acompañados (UMC por sus siglas en inglés) centroamericanos fueron en promedio, 3.7 veces mayor que los de origen mexicano. La información proporcionada por el CBP sobre detenciones es sensible a las fluctuaciones en los flujos migratorios mexicanos y centroamericanos y puede servir como complemento en la elaboración de política pública en los estados del norte de México.

**Palabras clave:** Aprehensiones, patrulla fronteriza, Estados Unidos, México, Centroamérica.

## Abstract

Mexican and Central American migrations have varied in their magnitudes and modalities so far in the 21st century. For Mexico, there has been a drop in migration

flows to the United States since 2008, with an increase in return movements from that country to Mexico. Central American migration to the United States through Mexico has increased over the past 10 years. This paper aims to contrast the changes in the magnitude and composition of the movements of Mexican and Central American migrants secured by the U.S. Border Patrol in the period of 2014-2022. The literature on Mexican and Central American migration to the United States so far this century was reviewed, as well as the U.S. Customs and Border Protection (CBP) website to document the characteristics of the detentions. Detentions for Mexican migrants were twice as high as for Central American migrants traveling alone. In contrast, the average number of family units arrested was 23 times higher for people from Central America than for those of Mexican origin. Finally, arrests of Central American UMCs were, on average, 3.7 times higher than those detentions from Mexico. The information provided by CBP on detentions shows to be sensitive to detect fluctuations in Mexican and Central American migratory flows and can serve as a complement in the development of Public policy in the northern states of Mexico.

**Key words:** Apprehensions, Border patrol, United States, Central America, Mexico.

### **Introducción.**

Durante los primeros decenios del siglo XXI se han observado cambios significativos en las tendencias, características y modalidades de la migración internacional mexicana. Se han destacado modificaciones en los flujos migratorios de retorno a México desde Estados Unidos, así como también transformaciones en los flujos migratorios desde México hacia ese país, sobre todo un descenso en la migración irregular. Sin embargo, a partir de 2021 hubo un incremento del flujo de personas mexicanos que tratan de cruzar de manera irregular hacia la unión americana (BBVA, 2022). Por otro lado, la migración procedente de los tres países del

“Triángulo Norte” de Centroamérica (Guatemala, Honduras y El Salvador) con destino hacia Estados Unidos ha venido creciendo desde hace varios años. Según Selee (2020), a partir de 2012 la migración de estos tres países empezó a incrementarse de manera considerable y en 2019 las detenciones realizadas por la patrulla fronteriza de Estados Unidos crecieron de manera importante.

Diversos autores han señalado que los principales determinantes en las modificaciones de los flujos migratorios de México a Estados Unidos y viceversa son de orden económico y político (García y Aguado, 2013; Montoya y col., 2015; Durand, 2013). Entre los factores económicos se encuentra la crisis que se presentó en 2008. Dabat (2009) plantea que si se analiza la crisis financiera desde una perspectiva espacial lo que se observaría es una crisis de la economía norteamericana de nuevo tipo que tuvo, entre otros, un impacto significativo en el mercado inmobiliario de ese país. La crisis financiera de 2008 fue uno de los acontecimientos coyunturales que determinó un incremento de la migración de retorno hacia las comunidades de origen de los migrantes mexicanos (Anguiano-Téllez y col., 2013). Un estudio sobre la evolución de la migración de retorno en México mostraba que los incrementos en los flujos migratorios de retorno se presentaban ante distintas coyunturas políticas y económicas del acontecer en la vida social norteamericana como el endurecimiento de la política migratoria norteamericana en 2001 debido al atentado a las torres gemelas en Nueva York, pero también se observó un incremento en el flujo migratorio de retorno debido a la crisis económica 2007-2008 (Montoya y col., 2015). La contraparte de este fenómeno se expresa en una disminución de los flujos migratorios desde México. De acuerdo con Levine (2015), desde la década de los setenta y hasta 2007 hubo un crecimiento importante en la migración mexicana hacia Estados Unidos, pero a partir de 2008 se han registrado estancamientos y caídas. En este sentido González (2011) señala que el desempleo debido a la crisis económica en 2008 y las medidas antiinmigrantes puestas en marcha por el gobierno americano, han tenido un gran

impacto en la disminución de la migración irregular mexicana hacia ese país. Según Canales (2012), la crisis estadounidense de 2008 afectó la tendencia migratoria anual de emigrantes de México con destino a Estados Unidos, al reducirse alrededor de un 60 por ciento. Durand (2014) señala que la crisis financiera de 2008 tuvo un efecto en el financiamiento de la migración irregular, debido a que se redujeron las horas de trabajo y hubo desempleo lo cual mermó los recursos de los migrantes ya establecidos en Estados Unidos y, por lo tanto, ya no hubo recursos para financiar la migración de sus familiares. Por su parte García (2012), concluye que la crisis de 2008 es la principal causa de que la migración mexicana hacia el vecino país del norte se haya reducido y que esa tendencia seguirá hasta que se recupere la economía norteamericana.

Por otra parte, la política migratoria norteamericana representa el otro determinante de peso en la expresión de los flujos migratorios mexicanos hacia y desde estados Unidos. En este sentido Arroyo y Rodríguez (2018) señalan que desde que terminó el Programa Bracero hasta los años ochenta del siglo pasado, el gobierno norteamericano aplicó una política no explícita basada en el control de los flujos migratorios que entraban de manera ilegal a su territorio con el fin de mantener un bajo costo de la mano de obra. Correa-Cabrera (2014) menciona que después de los ataques del 11 de septiembre de 2001 al parecer hay una relación estrecha entre las políticas de migración y seguridad puestas en marcha por Estados Unidos a través de una intensa vigilancia en la zona fronteriza y el endurecimiento en el control de la migración indocumentada, lo que ha provocado una ligera baja en este flujo. Por su parte, Bustamante (2007) considera que hay una cultura política restrictiva a la inmigración ya que la discusión de diversos proyectos de ley sobre migración en el Senado norteamericano se ha inclinado hacia posturas que ponen énfasis en la seguridad nacional, la guerra contra el terrorismo y el control de la frontera, elementos que generan una criminalización de la inmigración.

En lo que respecta a los movimientos de la población centroamericana éstos fueron en su mayor parte internos entre países a lo largo del siglo XX. Hacia el último tercio de ese siglo empezaron a verse cambios migratorios significativos que se expresaron en forma particular en aquellos países que experimentaron procesos de confrontación política y enfrentamientos armados en su territorio como Guatemala (Castillo y Toussaint, 2015), y El Salvador (Ramos y col., 2013; Zúñiga, 2016; Menjivar y Gomez, 2018), siendo el caso de Honduras diferente pues en ese país no hubo una confrontación política de la magnitud de la que hubo en Guatemala y El Salvador (López, 2013). La confrontación social y el deterioro económico en los países centroamericanos generaron movimientos migratorios internacionales que se vieron favorecidos por una política norteamericana anuente a las figuras de refugio o asilo y a una política mexicana flexible hacia los perseguidos en sus países (Castillo, 1999). La firma de los tratados de Paz pretendió crear un ambiente de estabilización, aunque la reconciliación entre actores sociales y la reactivación económica aún representaron tareas pendientes a cubrir (Castillo, 2000). Además de los problemas estructurales, los países centroamericanos han enfrentado desastres naturales que afectaron secciones importantes de los recursos naturales limitando las fuentes básicas de subsistencia (CEPAL, 1998). En 2014 las autoridades norteamericanas fueron sorprendidas por el cruce ilegal hacia su territorio de una gran cantidad de migrantes centroamericanos. Según Romero y Rodríguez (2016), ante la llegada en 2014 de una gran multitud de migrantes centroamericanos, el gobierno americano la llamó crisis humanitaria debido a que cruzaron ilegalmente gran cantidad de mujeres con niños y menores no acompañados, procedentes en su mayoría de los tres países del TNC. En este sentido Canales y colaboradores (2019), afirman que la pobreza, el subdesarrollo económico y productivo, la situación de violencia y las bajas expectativas de una vida mejor son los principales factores que explican el incremento de la migración de los tres países del TNC.

En este contexto sociohistórico se han presentado en los últimos años – particularmente a partir de 2018 y 2019– nuevas formas de desplazamiento de la migración centroamericana hacia Estados Unidos, adoptando la forma de “caravanas” (Martínez Hernández-Mejía, 2018; Varela y McLean, 2019) que han despertado un endurecimiento de las políticas migratorias tanto en Estados Unidos como en México. Sin embargo, pocos análisis se han realizado para caracterizar las tendencias en la composición de los movimientos migratorios desde México y Centroamérica utilizando la información proporcionada por *the United States Customs and Border Protection* (varios años), como un indicador de la política migratoria norteamericana. El presente trabajo tiene por objeto contrastar los cambios en las magnitudes y composición de los movimientos de migrantes mexicanos y de los países del TCN asegurados por la patrulla fronteriza de Estados Unidos en el periodo 2014-2022.

## **Materiales y Métodos**

La presente investigación se realizó utilizando un enfoque cuantitativo de alcance descriptivo. Se llevó a cabo una revisión bibliográfica con el tema de la migración mexicana y centroamericana hacia Estados Unidos desde finales del siglo XX y lo que va del XXI. Asimismo, se consultó la página de la *U.S. Customs and Border Protection (CBP): Nationwide Encounters* (2022). Antes de la pandemia por el Covid-19, la oficina del CBP procesaba a todos los migrantes detenidos bajo el Título 8 de Ley de Inmigración de Estados Unidos. En el año fiscal 2020, la Administración Trump respondió a la pandemia invocando la autoridad de emergencia del Título 42 bajo una Ley de Salud Pública. Los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades (CDC) emitieron una orden que permite al CBP expulsar a los inmigrantes de forma expedita sin trámites administrativos (Congressional Research Service, 2020). En la página del CBP se define el término de “encuentros” como las detenciones bajo el Título 8 de la Patrulla Fronteriza de

Estados Unidos, los denominados inadmisibles por la Oficina de Operaciones de Campo (OFO por sus siglas en inglés) y las expulsiones bajo el Título 42. De ahí se obtuvo información interactiva de publicaciones realizadas por la U.S. Border Patrol para la elaboración de las tablas de aprehensiones de migrantes mexicanos y centroamericanos, de menores migrantes, adultos que viajan solos y unidades familiares migrantes, así como para la elaboración de la única figura de este trabajo. Cabe hacer mención que los datos publicados por la patrulla fronteriza de Estados Unidos son en años fiscales que abarcan el periodo octubre a septiembre.

## **Resultados y discusión**

### Contabilidad del total de aprehensiones

La información reportada por las autoridades norteamericanas sobre detenciones en la frontera México-Estados Unidos, representa un aproximado de la magnitud de los flujos migratorios en ese punto geográfico. En la Figura 1 es notorio cómo la migración de mexicanos hacia Estados Unidos tuvo una gran caída entre 2010 y 2019, pero presentó un repunte significativo a partir de 2020. La caída en las detenciones de migrantes mexicanos es un reflejo de diversos factores económicos que desestimulan la atracción de la migración mexicana hacia Estados Unidos. García y Aguado (2013) estudiaron cambios en el patrón migratorio mexicano hacia Estados Unidos influidos por factores económicos que generaron una disminución de la emigración internacional y un aumento en el número de migrantes de retorno entre 2005 y 2010. Los resultados de este trabajo muestran que la disminución de detenciones de migrantes mexicanos se prolongó hasta 2019, en cuya tendencia pudo tener influencia también, el endurecimiento de la política migratoria (Correa-Cabrera, 2014). A partir de ese año hubo un repunte en las detenciones de migrantes mexicanos. Según el Anuario de Migración y Remesas México (BBVA, 2022), entre 2020 y 2022, hubo una fuerte demanda laboral en Estados Unidos que atrajo una inmigración compuesta principalmente de migrantes “no documentados”,

lo cual estuvo relacionado con un incremento de los encuentros mensuales de mexicanos con las autoridades migratorias de Estados Unidos entre 2020 y 2022.

En el caso de la migración proveniente de El Salvador, Guatemala y Honduras, se observan incrementos importantes en las detenciones, el primero en 2019 y el segundo en 2021 (Figura 1). En relación a estos tres países, se observa que los flujos migratorios de Guatemala y Honduras, tomando como indicador las detenciones, han tenido un gran crecimiento en 2019 y un máximo histórico en 2021, mientras que el flujo migratorio de El Salvador muestra un crecimiento lento. En términos globales, las detenciones de migrantes centroamericanos muestran dos picos, uno en 2019 que supera al de los migrantes mexicanos y otro en 2021 en que se igualan ambas tendencias, interrumpidos por las limitaciones a la movilidad de la población en 2020 por la pandemia del Covid-19. Lo anterior concuerda con lo que señala Selee (2020) que desde 2012 se ha incrementado significativamente el número de migrantes con destino a Estados Unidos de los tres países centroamericanos señalados anteriormente, así como el incremento de las detenciones en la frontera de ese país de personas migrantes de origen centroamericano que superaron a las correspondientes de origen mexicano desde 2014 (Selee y col., 2019). Por su parte, Arboleya (2021) señala que en lo que va de este siglo la migración centroamericana hacia el país norteamericano ha tenido un incremento histórico en aproximadamente 32 por ciento, en el que predomina la migración irregular compuesta en gran medida por familias, mujeres y menores no acompañados.

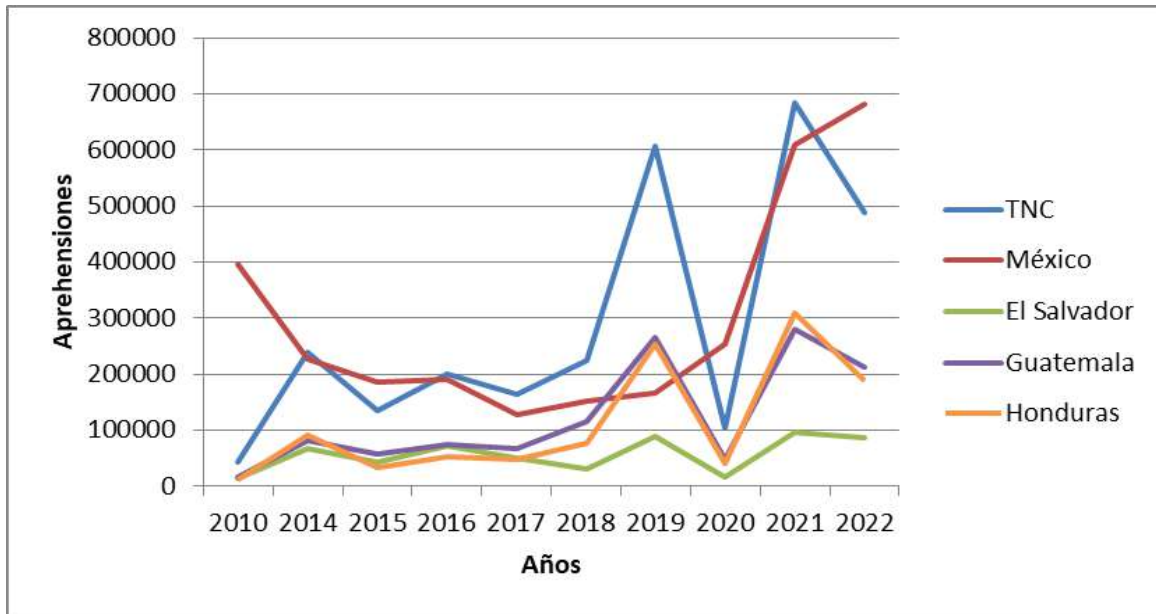


Figura 1. Aprehensiones de migrantes mexicanos y de los países del TNC por la Patrulla Fronteriza de Estados Unidos 2010-2022.

Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Customs and Border Protection: U.S. Border Patrol Nationwide Apprehensions by Citizenship and Sector (2007-2020) y U.S. Customs and Border Protection: Nationwide Encounters.

#### Adultos migrantes que viajan solos

Otra clasificación realizada por *the U.S. Customs and Border Protection* es el de las detenciones de migrantes que viajan solos. En la Tabla 1 se puede observar que en el periodo entre 2016 y 2022, las magnitudes de las detenciones fueron mayores para las personas migrantes mexicanas respecto del total de las centroamericanas. Para 2016 la razón estadística fue 2.13 veces mayor para los migrantes mexicanos, 1.94 para 2017, 1.7 en 2018, 1.3 para 2019, 3.62 en 2020, 1.84 para 2021 y 2.4 en 2022. En otras palabras, las detenciones de personas migrantes centroamericanas que viajan solas fueron menores que las realizadas a migrantes mexicanos, pero, aun así, puede verse que se incrementaron entre 2016 hasta 2019, año en que casi

igualan a las aprensiones de personas de origen mexicano, pero tuvieron su mayor caída en 2020, año de la pandemia por Covid-19, con escasa recuperación en los siguientes años.

En este punto resalta la pregunta ¿por qué el número de detenciones por parte de las autoridades migratorias norteamericanas, de personas de origen mexicano que viajan solas es consistentemente mayor al de personas de origen centroamericano en el periodo de estudio? Es importante destacar que las personas que integran los flujos migratorios provenientes de Centroamérica y que transitan a través de México, enfrentan múltiples dificultades a lo largo de su trayecto. Las dificultades son mayores para las personas migrantes de origen centroamericano que para las de origen mexicano. Castillas (2008) hace un recuento de lo que llama transmigración centroamericana hacia Estados Unidos a través de México. Considera que los procesos transmigrantes en la década de los 80 no fueron problema para el gobierno norteamericano ni para el mexicano. Para el primero, los flujos transmigrantes no representaban magnitudes importantes y cuando estas empezaron a aumentar, se toleraron por la presencia de conflictos político-militares en algunos países de Centroamérica. Para México, los procesos eran benéficos porque las personas migrantes dinamizaban la economía por la compra de bienes y servicios en su territorio. Todo se complicó cuando en la década de los 90 hubo un endurecimiento de la política migratoria norteamericana caracterizada por un incremento de deportaciones a México y la exigencia a este país de establecer mayor control sobre su frontera sur. México respondió creando el Instituto Nacional de Migración y para 2005 había construido 52 estaciones migratorias distribuidas estratégicamente en lo que se ha denominado una frontera vertical. Con ello se incrementó el número de detenciones de personas migrantes de origen centroamericano en México, pero no se logró su contención. La migración reaccionó estableciendo nuevas rutas migratorias lo cual generó procesos sociales que apoyan, encausan y lucran con los indocumentados internacionales. En este

sentido, París y colaboradores (2016), así como Parrini y Flores (2018) analizan las vicisitudes que enfrentan los migrantes centroamericanos que atraviesan México en contextos de gran vulnerabilidad, para llegar a Estados Unidos.

Tabla 1. Detención de migrantes adultos mexicanos y de los países del TNC no acompañados por la Patrulla Fronteriza en la frontera Suroeste 2016-2022

País	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
EI							
Salvador	27222	16495	12751	20893	9960	44702	47191
Guatemala	32621	26387	42994	48606	27948	140312	124676
Honduras	22258	17110	26161	44981	25152	121784	89612
TNC	82101	59992	81906	114480	63060	306798	263501
Mexico	175353	116790	139860	149967	228842	566868	637855

Fuente: Elaboración propia con datos de U.S. Customs and Border Protection.

Southwest Border Single Adult Apprehensions by Country, Fiscal Years 2016-2022 y Nationwide Encounters, Fiscal Years 2020- 2022.

TNC= El Salvador, Guatemala y Honduras

Nota: Los datos de aprehensiones incluyen las detenciones del Título 8 y a partir del 21 de marzo de 2021 también las expulsiones del Título 42 para los años fiscales 2020-2022.

### Migración familiar

Durante los últimos años se ha incrementado la migración de origen centroamericano compuesta por unidades familiares que viajan hacia Estados Unidos. En contraste, la migración de unidades familiares mexicanas ha sido baja y se ha mantenido casi constante a lo largo del periodo de estudio. La Tabla 2 muestra la distribución de las detenciones de personas migrantes mexicanos y centroamericanos compuestas por unidades familiares entre 2014 y 2022. La razón estadística de la migración centroamericana sobre la mexicana fue 11.2 veces

mayor en 2014, 8.5 en 2015, 20.2 para 2016, 31.3 en 2017, 45.6 para 2018, 71.7 en 2019, 2.5 para 2020, 15.4 para 2021 y 6.2 en 2022. En otras palabras, la magnitud de la migración centroamericana empezó a incrementarse a partir de 2017 y alcanzó su máxima magnitud en 2019. Este incremento coincide con la presencia de nuevas estrategias de migración como lo fueron las caravanas de migrantes centroamericanas que llegaron en 2018 a Tijuana, Baja California (El Colegio de la Frontera Norte, 2018) y en 2019 a la ciudad de Piedras Negras (Uribe-Salas y col., 2020), como expresiones de nuevas estrategias de desplazamiento desde Centroamérica. Diferentes circunstancias favorecieron la conformación de caravanas de personas migrantes de origen centroamericano como la información sobre la posibilidad de ingresar a Estados Unidos mediante una petición de asilo (Solalinde y Correa, 2019), o el programa de visas temporales de trabajo establecido por el gobierno federal en México (El Colegio de la Frontera Norte, 2019). Estas estrategias de migración han permitido el desplazamiento de un número cada vez mayor de mujeres y de niños ya que representa una forma de movilidad más segura que una migración atomizada. Aunque se formaron nuevas caravanas migrantes centroamericanas después de 2019, éstas fueron disueltas en su avance en México lo cual se expresa en una disminución de las detenciones de unidades familiares en Estados Unidos después de 2020 (Tabla 2).

Tabla 2. Unidades familiares migrantes de México y del TNC detenidas por la Border Patrol en la frontera Suroeste de Estados Unidos 2016-2019.

País	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
El									
Salvador	14833	10872	27114	24122	13669	56897	4335	35755	35076
Guatemala	12006	12820	23067	24657	50401	185233	10905	80150	32499
Honduras	34495	10671	20226	22366	39439	188416	10485	147416	62778
TNC	63348	36378	70407	71145	103509	430546	25725	263321	130353
México	5639	4276	3481	2271	2261	6004	9917	17040	20951

Fuente: Elaboración propia con datos de Southwest Border Family Unit Apprehensions by Country, Fiscal Years 2014- 2020 y Nationwide Encounters, Fiscal Years 2020-2022.

Nota Unidad familiar representa el número de individuos (ya sea un niño menor de 18 años, padre o tutor legal) detenido con un miembro de la familia por la Patrulla Fronteriza de EE. UU.

Menores migrantes no acompañados

De acuerdo con la Red Nacional de Estrés Traumático (NCTSN por sus siglas en inglés), los niños migrantes no acompañados (UMC por sus siglas en inglés), son niños, niñas o adolescentes que viajan a través de las fronteras del país sin un tutor legal y sin documentos legales de inmigración (NCTSN, 2014). Desde 2014 ha habido un incremento en el número de UMC detenidos, por parte de las autoridades migratorias norteamericanas, en la frontera entre México y Estados Unidos. La gran mayoría de esos niños provienen de México, Guatemala, Honduras y El Salvador. Las disposiciones administrativas para esos niños, una vez que se encuentran en suelo norteamericano, dependen del país de origen. Si son niños mexicanos aprehendidos por las autoridades migratorias en la frontera, son deportados en el plazo de 24 horas. Si los niños son de origen centroamericano, se procede a su retención en las instalaciones migratorias para determinar su identidad, recibir atención médica y social básica, para luego canalizarlos con un patrocinador en ese país que se encargue de satisfacer sus necesidades.

Tabla 3. Menores migrantes mexicanos y del TNC no acompañados detenidos por la Border Patrol en los años 2014-2022.

País	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
El Salvador	16404	9389	17512	9143	4949	12021	2189	15473	15182
Guatemala	17057	13589	18913	14827	22327	30329	8390	58571	56083
Honduras	18244	5409	10468	7784	10913	20398	4454	39731	34428
TNC	51705	28387	46893	31754	38189	62748	15033	113775	105693
Mexico	15634	11012	11296	8877	10136	10487	14359	24129	23930

Fuente: Elaboración propia con datos de Southwest Border Unaccompanied Alien Children Apprehensions by Country Fiscal Years 2014 – 2020 y Nationwide Encounters Fiscal Years, 2020-2022.

No obstante, este fenómeno migratorio compuesto por UMC representa un problema que Moctezuma-Longoria (2018) caracteriza como la “pérdida de la seguridad ontológica”, definida como un conjunto de experiencias terribles a que son sometidos padres y niños en los procesos migratorios. Esta situación se encuentra respaldada por una política de Estado restrictiva, establecida desde la administración del presidente Donald Trump para desalentar la migración en la frontera sur de Estados Unidos y una correspondiente política de omisión en el caso del gobierno mexicano. La Tabla 3 muestra números que no pueden verse en forma fría por su magnitud, ya que, puestos en contexto, la cifra de 51 705 UMC centroamericanos y 15 634 mexicanos para 2014 y de 105 683 y 23 930 respectivamente para 2022, con variaciones intermedias, son un reflejo del drama social y humano que se experimenta actualmente en la frontera México-Estados Unidos.

Cabe destacar que la magnitud de UMC de origen centroamericano es varias veces mayor que la constituida por los niños mexicanos. Las razones estadísticas de las magnitudes de UMC centroamericanos sobre la de mexicanos fluctuaron entre 2.6 en 2015 y 5.9 en 2019 con el único punto más bajo en 2020 donde las magnitudes se igualaron con una razón de 1.04, debido a la pandemia de Covid-19 que limitó la

movilidad de la población. Estos resultados tienen un significado social importante porque si bien todos los UMC son vulnerables durante su desplazamiento, los riesgos son mayores para los niños centroamericanos, tanto por su magnitud como por mayores distancias a recorrer y de las consecuencias al ingresar a territorio norteamericano. Según Pierce (2015) la presencia de magnitudes cada vez mayores de UMC en la frontera norteamericana, ha tenido consecuencias negativas para ellos, como la espera de meses o años para decidir su estatus legal dado por una corte de inmigración y que las decisiones finales sobre dicho estatus pueden estar influenciadas por tener o no un representante legal. En relación con los niños que no llegan a tener un estatus legal, las autoridades enfrentan dificultades para satisfacer sus necesidades básicas como educación, vivienda y alimentación. Se trata de un fenómeno de movilidad humana que se ha abordado desde la perspectiva de seguridad y no de derechos humanos (Rea, 2019), lo que origina que los niños y adolescentes que requieren protección cursen como en un movimiento invisible política y socialmente, lo que los hace más vulnerables.

## **Conclusiones**

Los resultados de este estudio muestran que el comportamiento de los flujos migratorios hacia Estados Unidos, provenientes de México y Centroamérica, no es lineal, sino que presenta incrementos o decrementos que dependen de diferentes circunstancias, como las crisis económicas, el endurecimiento de la política norteamericana y mexicana hacia la migración, los desastres naturales que se presentan en el sur de México y en Centroamérica y de contingencias no esperadas, como la pandemia por el Covid-19. El comportamiento de la información recabada por las autoridades migratorias norteamericanas muestra ser sensible a una combinación de eventos coyunturales de salud y políticos, tales como la pandemia por Covid-19 en que se vio limitada la movilidad de la población, ya que Estados Unidos acordó una restricción temporal de los viajes no esenciales a lo largo de sus

fronteras y estableció una medida de los servicios de salud pública, el llamado título 42, que implica la expulsión inmediata de las personas con estatus migratorio irregular (Torre-Cantalapiedra, 2021). En ese contexto, los resultados mostraron cómo las caídas en el número de detenciones afectaron mayormente a los migrantes centroamericanos en 2020.

Las fluctuaciones en las detenciones por parte de las autoridades migratorias norteamericanas, afectó de forma diferenciada a las personas de origen mexicano con respecto de las de origen centroamericano. Tal es el caso de las personas migrantes que viajan solas. En ellas, las de origen mexicano fueron, en promedio, más del doble respecto de las personas centroamericanas. Sin embargo, la magnitud de las detenciones de unidades familiares fue, en promedio, 23 veces mayor para las personas de origen centroamericano respecto de las de origen mexicano. En forma particular es importante destacar que las magnitudes de UMC de origen centroamericano fue, en promedio, 3.7 veces mayor que los UMC de origen mexicano.

Todas las evidencias en las fluctuaciones temporales y magnitudes de detenciones de personas migrantes en la frontera sur de Estados Unidos, así como las diferencias en las composiciones de sus categorías de detenciones y las variaciones en los montos de personas según el país de origen, son congruentes con lo que diferentes autores han identificado como desencadenantes migratorios en términos de factores histórico-sociales de los países de origen y las coyunturas políticas, económicas y sociales en los países de tránsito como de destino. El análisis de la información proporcionada por las autoridades migratorias de Estados Unidos, puede ser utilizada para evaluar las variaciones en los flujos migratorios a través de México, con el fin de sustentar políticas públicas para su abordaje, especialmente en los estados del norte de México.

## Referencias

Anguiano-Téllez, M. E., Cruz-Piñero, R., & Garbey-Burey, R. M. (2013). Migración internacional de retorno: trayectorias y reinserción laboral de emigrantes veracruzanos. *Papeles de población*, 19(77): 115-147. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252013000300008&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252013000300008&lng=es&tlng=es). Fecha de consulta: 3 de octubre de 2022.

Arboleya Cervera, J. (2021). La emigración procedente de Centroamérica hacia Estados Unidos. *Revista Novedades en Población*, 17(34): 448-482. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1817-40782021000200448](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-40782021000200448) Fecha de consulta 23 de agosto de 2022.

Arroyo Alejandro, J. & Rodríguez Álvarez, D. (2018). Muros y migración México-Estados Unidos. *Papeles de población*, 24(95): 89-114. <https://doi.org/10.22185/24487147.2018.95.05>

BBVA. (2022). Anuario de Migración y remesas México 2022. México, BBVA/Gobierno de México, Conapo. [En línea]. Disponible en: <https://www.bbvaesearch.com/publicaciones/mexico-anuario-de-migracion-y-remesas-2022/> Fecha de consulta 12 de agosto de 2022

Bustamante, J. A. (2007). La Migración de México a Estados Unidos: de la coyuntura al fondo. *Revista Latinoamericana de Población*, 1(1): 89-113. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3238/323827539007.pdf> Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2022.

Canales, A. I. (2012). La migración mexicana frente a la crisis económica actual: crónica de un retorno moderado. *REMHU: Revista Interdisciplinaria da Mobilidade Humana*, 20: 117-134. [En línea]. Disponible en:

<https://www.scielo.br/j/remhu/a/FB8WWkdHsgmGjpNdRkJ8Q4x/abstract/?lang=es>

Fecha de consulta 27 de agosto de 2022.

Canales, A. I., Fuentes Knight, J. A., & De León Escribano, C. R. (2019). Desarrollo y migración: desafíos y oportunidades en los países del norte de Centroamérica.

[En línea]. Disponible en:

[https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44649/1/S1000454\\_es.pdf](https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/44649/1/S1000454_es.pdf)

Fecha de consulta 27 de octubre de 2022.

Castillas, R. (2008). Las rutas de los centroamericanos por México, un ejercicio de caracterización, actores principales y complejidades. *Migración y desarrollo*, (10): 157-174. [En línea]. Disponible en:

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-75992008000100007)

[75992008000100007](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-75992008000100007) Fecha de consulta 29 de octubre de 2022.

Castillo, M. A. (1999). Tendencias y determinantes estructurales de la migración internacional en Centroamérica. En: Monzón AS (coord.). *Antología del pensamiento crítico contemporáneo guatemalteco*. Buenos Aires, GLACSO.

Castillo, M. A. (2000). Las políticas hacia la migración centroamericana en países de origen, de destino y de tránsito. *Papeles de Población*, 6 (24): 133-157.

Castillo, M. A. & Toussaint, M. (2015). La frontera sur de México: orígenes y desarrollo de la migración centroamericana. *Cuadernos Intercambio sobre Centroamérica y el Caribe*, 12(2): 59-86.

CEPAL. (1998). Guatemala: Evaluación de los daños ocasionados por el huracán Mitch, 1998. Sus implicaciones para el desarrollo económico y social y el medio ambiente. [En línea]. Disponible en:

<https://repositorio.cepal.org/handle/11362/25401> Fecha de consulta 15 de octubre de 2022.

Congressional Research Service. (2020). Entry restrictions at the Northern and the Southern borders in response to Covid-19. [En línea]. Disponible en: <https://sgp.fas.org/crs/homesec/LSB10439.pdf> Fecha de consulta: 23 de septiembre de 2022

Correa-Cabrera, G. (2014). Seguridad y migración en las fronteras de México: diagnóstico y recomendaciones de política y cooperación regional. *Migración y desarrollo*, 12(22): 147-171. [En línea]. Disponible en: [.http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-75992014000100006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-75992014000100006&lng=es&tlng=es). Fecha de consulta 13 de septiembre de 2022.

Dabat, A. (2009). La crisis financiera en Estados Unidos y sus consecuencias internacionales. *Problemas del desarrollo*, 40(157): 39-74. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0301-70362009000200003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-70362009000200003&lng=es&tlng=es). Fecha de consulta: 18 de octubre de 2022.

Durand, J. (2013). Nueva fase migratoria. *Papeles de población*, 19(77): 83-113. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252013000300007&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252013000300007&lng=es&tlng=es). Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022.

Durand, J. (2014). Balance y prospectiva del fenómeno migratorio en México. [En línea]. Disponible en: <http://148.202.112.11:8080/jspui/handle/123456789/124> Fecha de consulta: 25 de octubre de 2022.

El Colegio de la Frontera Norte. (2018). La caravana de migrantes centroamericanos en Tijuana 2018. Diagnóstico y propuestas de acción. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte

El Colegio de la Frontera Norte. (2019). La caravana centroamericana de migrantes en Piedras Negras, Coahuila 2019. Diagnóstico y propuestas de acción. Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte.

García, T., & Aguado, D. (2013). Determinantes de la migración de retorno en México, 2007-2009. En: CONAPO, *La situación demográfica en México*. México, CONAPO, 175-178.

García Zamora, R. (2012). Cero migración: Declive de la migración internacional y el reto del empleo nacional. *Migraciones internacionales*, 6(4): 273-283.

González, E. D. (2011). El descenso en la migración de mexicanos hacia estados unidos y los efectos en el mercado del trabajo. *Revista Nicolaita de Estudios Económicos*, 6(1): 7-31.

Levine, E. (2015). ¿Por qué disminuyó la migración México-Estados Unidos a partir de 2008? *Problemas del desarrollo*, 46(182): 9-40. <https://doi.org/10.1016/j.rpd.2015.02.001>

López, R. V. (2013). Desarrollo, migración y seguridad: El caso de la migración hondureña hacia Estados Unidos. *Migración y Desarrollo*, 12: 65-105.

Martínez Hernández-Mejía, I. (2018). Reflexiones sobre la caravana migrante. *Análisis Plural*: 231-248. [En línea]. Disponible en: <https://rei.iteso.mx/bitstream/handle/11117/5616/S3%20Reflexiones%20sobre%20>

[a%20caravana%20migranteAjustado.pdf?sequence=2](#) Fecha de consulta: 10 de noviembre de 2022.

Menjivar, C., & Gomez, A. (2018). El Salvador: Civil war, natural disasters, and gang violence drive migration. Migration Policy Institute. [En línea]. Disponible en: <https://www.migrationpolicy.org/article/el-salvador-civil-war-natural-disasters-and-gang-violence-drive-migration> Fecha de consulta: 12 de noviembre de 2022.

Moctezuma-Longoria, M. (2018). Menores migrantes vulnerados por el gobierno estadounidense. Atrocidades y omisiones de las políticas públicas. *Papeles de Población*, (18). DOI: <http://dx.doi.org/10.22185/24487147.2018.98.38>

Montoya Ortiz, M.S., & González Becerril, J.G. (2015). Evolución de la migración de retorno en México: migrantes procedentes de Estados Unidos en 1995 y de 1999 a 2014. *Papeles de población*, 21(85): 47-78. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-74252015000300003&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-74252015000300003&lng=es&tlng=es). Fecha de consulta: 14 de octubre de 2022,

París Pombo, M. D., Ley Cervantes, M., Peña Muñoz, J. (2016). *Migrantes en México vulnerabilidad y riesgos*. México, Organización Internacional de Migraciones y El Colegio de la Frontera Norte.

Parrini Roses, R. & Flores Pérez, E. (2018). El mapa son los otros: Narrativas del viaje de migrantes centroamericanos en la frontera sur de México. *Íconos*, (61): 71-90.

Pierce, S. (2015). *Unaccompanied child migrants in US communities, immigration court, and schools*. Migration Policy Institute. [En línea]. Disponible en:

<https://www.migrationpolicy.org/sites/default/files/publications/UAC-Integration-FINALWEB.pdf> Fecha de consulta: 4 de octubre de 2022.

Ramos, T. E., Campos Moran, S., Jasmin Bolanos, H., & Calles Minero, C. (2013). *Perfil Actual de la Persona Migrante en El Salvador*. Washington, D.C.: USCRI/ Universidad Tecnológica de El Salvador. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.utec.edu.sv:8080/xmlui/bitstream/handle/11298/1061/112981061.pdf?sequence=1&isAllowed=y> Fecha de consulta: 28 de octubre de 2022.

Rea Granados, S. A. (2019). Difficulties in identifying unaccompanied refugee children in mixed migration flows: The case of Mexico and Central America. *Mexican Review Law*, 12 (1): 33-55. <https://doi.org/10.22201/ij.24485306e.2019.2.13637>

Romero, L. A., & Rodríguez, N. (2016). Inmigración de menores centroamericanos y reacciones en Estados Unidos. *Ecuador Debate* 97: 123-141. [Internet]. Disponible en: <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/handle/10469/12138> Fecha de consulta: 3 de noviembre de 2022.

Seele, A., Giorguli-Saucedo, S.E., Ruiz Soto, A.G., Masferrer, C. (2019). Invertir en el vecindario: Cambios en los patrones de migración entre México y Estados Unidos y oportunidades para una cooperación sostenible. Washington, Migration Policy Institute. [En línea]. Disponible en: [https://www.migrationpolicy.org/sites/default/files/publications/MPI-Migracion-Mexico-EstadosUnidos-SPANISH\\_Final.pdf](https://www.migrationpolicy.org/sites/default/files/publications/MPI-Migracion-Mexico-EstadosUnidos-SPANISH_Final.pdf) Fecha de consulta 22 de noviembre de 2022

Selee, A. (2020). Un año de cambios profundos en la política migratoria entre Centroamérica, México y Estados Unidos. *Análisis Carolina*, (2): 1. [https://doi.org/10.33960/AC\\_02.2020](https://doi.org/10.33960/AC_02.2020)

Solalinde, A. & Correa-Cabrera, G. (5 de mayo de 2019). Caravanizando la Migración: Una perspectiva desde México. *Proceso*. [En línea]. Disponible en: <https://www.proceso.com.mx/opinion/2019/5/5/caravanizando-la-migracion-una-perspectiva-desde-mexico-224346.html>

Torre-Cantalapiedra, E. (2021). Políticas migratorias de control y protección en tiempos del Covid-19. *Huellas de la Migración*, 6 (11): 11-43. doi: <https://doi.org/10.36677/hmigracion.v6i11.16309>.

The National Child Traumatic Stress Network. (2014). Unaccompanied Migrant Children. [En línea]. Disponible en: [https://www.nctsn.org/sites/default/files/resources/unaccompanied\\_migrant\\_childr\\_en.pdf](https://www.nctsn.org/sites/default/files/resources/unaccompanied_migrant_childr_en.pdf) Fecha de consulta: 23 de octubre de 2022.

Uribe-Salas F. J., Parra Ávila, J. y Mayo Carrillo, J. F. (2019). Nuevos patrones de migración centroamericana a Estados Unidos: La caravana en Piedras Negras, Coahuila, México, 2019. *Población y Desarrollo-Argonautas y Caminantes*, 16: 21-34. DOI: <https://doi.org/10.5377/pdac.v16i0.10225>

U.S. Customs and Border Protection. (2020a). Southwest Border Single Adult Apprehensions by Country Fiscal Years 2016-2020. [En línea]. Disponible en: [U.S. Border Patrol Southwest Border Apprehensions by Sector Fiscal Year 2020 | U.S. Customs and Border Protection \(cbp.gov\)](https://www.cbp.gov/newsroom/stats/southwest-border-apprehensions-by-sector-fiscal-year-2020) Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2022.

U.S. Customs and Border Protection. (2020b). Southwest Border Unaccompanied Alien Children Apprehensions by Country Fiscal Years 2014 – 20. [En línea].

Disponible en: [U.S. Border Patrol Southwest Border Apprehensions by Sector Fiscal Year 2020 | U.S. Customs and Border Protection \(cbp.gov\)](#) Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2022.

U.S. Customs and Border Protection (2019). United States Border Patrol Southwest Family Unit Subject and Unaccompanied Alien Children Apprehensions Fiscal Year 2016. [En línea]. Disponible en: [United States Border Patrol Southwest Family Unit Subject and Unaccompanied Alien Children Apprehensions Fiscal Year 2016 | U.S. Customs and Border Protection \(cbp.gov\)](#) Fecha de consulta: 12 de septiembre de 2022.

U.S. Border Patrol. Southwest Border Sector. (2014). Citizenship of Family Unit/ Unaccompanied Alien Children (UAC) Apprehensions FY2014. [En línea]. Disponible en: [BP Southwest Border Family Units and UAC Apps FY13 - FY14.xls \(cbp.gov\)](#) Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2022.

U.S. Customs and Border Protection. (2021). U.S. Border Patrol Nationwide Apprehensions by Citizenship and Sector (FY2007 - FY 2020). [En línea]. Disponible en: [U.S. Border Patrol Nationwide Apprehensions by Citizenship and Sector \(FY2007 - FY 2020\) | U.S. Customs and Border Protection \(cbp.gov\)](#) Fecha de consulta: 15 de septiembre de 2022.

U.S. Customs and Border Protection. (2022). Nationwide Encounters. [En línea]. Disponible en: <https://www.cbp.gov/newsroom/stats/nationwide-encounters> Fecha de consulta: 28 de septiembre de 2022.

Varela Huerta, A. & McLean, L. (2019). Caravanas de migrantes en México: Nueva forma de autodefensa y transmigración. *Revista CIDOB d'Afers Internacionals*, 122: 163-185. DOI: doi.org/10.24241/rcai.2019.122.2.163

Zúñiga Núñez, M. (2016). Migración, Pandillas y Criminalización: La conflictividad social estadounidense y su relación con El Salvador. En C. Sandoval (edit.). *Migraciones en América Central, Políticas, territorios y actores*, (p. 25-44). San José, Costa Rica: UCR. [En línea]. Disponible en: [file:///C:/Users/tobyu/Downloads/migraciones\\_america.pdf](file:///C:/Users/tobyu/Downloads/migraciones_america.pdf) Fecha de consulta: 28 de octubre de 2022.

**Evaluación de la citotoxicidad en la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc en polimetilmetacrilato (PMMA) para base de dentaduras completas**

Evaluation of cytotoxicity in the incorporation of zinc oxide nanoparticles in polymethylmethacrylate (PMMA) for complete denture bases

Fotografía tomada por el grupo de trabajo

MCO Elsa Elizabeth Riojas Méndez<sup>1</sup>,  
Dra Sandra Cecilia Esparza González<sup>1</sup>,  
Dra Rebeca Betancourt Galindo<sup>2</sup>  
Dra. Aide Saenz Galindo<sup>3</sup>  
Dr. Jorge Ortiz<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Coahuila, Posgrado de prostodoncia avanzada,  
Avenida Dra. Cuquita Cepeda de Dávila s/n. Col. Adolfo López Mateos C.P.  
25125. Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Centro de Investigación en Química Aplicada. Enrique Reyna H. 140, San José de los  
Cerritos, 25294 Saltillo, Coah.

<sup>3</sup>Facultad de Ciencias Químicas. Blvd. Venustiano Carranza 935, República, 25280  
Saltillo, Coah.

Correspondencia para autor: Esparza González Sandra C  
[sandraesparzaqonzal@uadec.edu.mx](mailto:sandraesparzaqonzal@uadec.edu.mx)

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue investigar en qué medida la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc (NPs ZnO) en polimetilmetacrilato (PMMA) puede ser citotóxico para las células *in vitro* (NIH/3T3), además de evaluar si la modificación superficial para lograr una mejor dispersión de las nanopartículas cambia la citotoxicidad. El primer grupo sin modificación se presenta como PMMA con nanopartículas de óxido de zinc en las en concentraciones de 0.1, 0.3 y 0.5 %, el segundo grupo se realizó con modificación superficial del PMMA para conseguir un efecto de dispersión de las nanopartículas en la matriz polimérica, en concentraciones de 0.1, 0.3 y 0.5 % de nanopartículas de óxido de zinc. Se evaluó mediante ensayo *in vitro* de reducción de sales de tetrazolio (MTT). Los resultados arrojaron, tanto para la muestra sin modificación y de incorporación de 0.1 %m de NPs ZnO y los modificados con incorporación de 0.3 y 0.5 %m de NPs ZnO no mostraron ningún efecto citotóxico del óxido de zinc en comparación con el grupo de control (células sin tratamiento). Se observó efecto citotóxico en la concentración de nanopartículas al 0.5 %m de 64.02%, y para la concentración de 0.5%<sub>m</sub> de 53.1%, las cuales fueron significativas en comparación con el grupo control. El grupo sin y con modificación a la concentración del 0.5 %<sub>m</sub> redujeron significativamente la viabilidad celular en comparación con el grupo control ( $p < 0.05$ ). Por lo tanto, de acuerdo con los resultados y la norma ISO 10993- 5:2009, se sugiere una seguridad en el uso de nanopartículas de ZnO como material aditivo para base de dentaduras postizas sin ejercer un efecto citotóxico sobre las células del huésped, principalmente las modificadas con concentraciones de NPs ZnO hasta de un 0.3%<sub>m</sub> en la matriz de PMMA.

Palabras claves: PMMA; NPs ZnO; citotoxicidad

## ABSTRACT

The objective of this work was to investigate to what extent the incorporation of zinc oxide nanoparticles (ZnO NPs) in polymethylmethacrylate (PMMA) can be cytotoxic to cells in vitro (NIH/3T3), in addition to evaluating whether the surface modification to achieve better dispersion of the nanoparticles changes the cytotoxicity. The first group without modification is presented as PMMA with zinc oxide nanoparticles in concentrations of 0.1, 0.3 and 0.5%, the second group was made with PMMA surface modification to achieve a dispersion effect of the nanoparticles in the polymer matrix. , in concentrations of 0.1, 0.3 and 0.5 % of zinc oxide nanoparticles. It was evaluated by means of an in vitro assay for the reduction of tetrazolium salts (MTT). The results showed, both for the sample without modification and incorporation of 0.1 %m of ZnO NPs and those modified with incorporation of 0.3 and 0.5 %m of ZnO NPs did not show any cytotoxic effect of zinc oxide compared to the control group (cells without treatment). A cytotoxic effect was observed in the concentration of nanoparticles at 0.5%<sub>m</sub> of 64.02%, and for the concentration of 0.5%<sub>m</sub> of 53.1%, which were significant compared to the control group. The group without and with modification at the concentration of 0.5 %<sub>m</sub> significantly reduced cell viability compared to the control group ( $p < 0.05$ ). Therefore, according to the results and the ISO 10993-5:2009 standard, a safety in the use of ZnO nanoparticles as an additive material for denture base is suggested without exerting a cytotoxic effect on the host cells, mainly those modified with concentrations of ZnO NPs up to 0.3% m in the PMMA matrix.

Key words: PMMA; NPs ZnO; cytotoxicity

## INTRODUCCIÓN

El edentulismo es una enfermedad que afecta a la mayoría de la población de la tercera edad, se define como la condición o estado oral sin ninguna pieza dental. Existen tratamientos para contrarrestar el problema, sin embargo es una condición irreversible (Cunha y Nadanovsky, 2007). Aunque la pérdida de dientes ha ido disminuyendo con el paso del tiempo, el edentulismo sigue siendo una enfermedad que no se ha podido erradicar por completo y de las más importantes en todo el mundo, especialmente entre los adultos mayores (Douglas y col., 2002). Aunado a esto, la pérdida dental afecta el habla, la masticación y llega a provocar una mala estética la cual tiende por afectar la calidad de vida de los pacientes (Stober y col., 2012; Emami y col., 2013).

Para poderles ofrecer una mejor calidad de vida, se les puede ofrecer a los pacientes la colocación de implantes para devolver funcionalidad y estética, sin embargo no todos los pacientes son candidatos o cuentan con la solvencia económica para poder recibir este tipo de tratamiento, por lo tanto se opta por tratamientos como prótesis totales o parciales (Mohammed, 2020; Allen y McMillan, 2003).

Este tipo de tratamientos son fabricados en base a resina acrílica de polimetilmetacrilato (PMMA), sin embargo, este material presenta algunos inconvenientes en cuanto a las propiedades de la superficie, como rugosidad de la superficie la cual puede ser colonizada por *Candida Albicans* (Gallegos y Bernal Cahuata, 2018). Además, al entrar en contacto con la mucosa bucal puede actuar como reservorio para la adherencia bacteriana. Se ha mencionado que los métodos de limpieza mecánicos son inadecuados para reducir por completo los microorganismos de la superficie de las dentaduras. Diferentes enfoques se han tomado para disminuir la adhesión de microorganismos al usar diferentes revestimientos, o incorporar aditivos antifúngicos en el PMMA de la base de la dentadura (Gallegos y Bernal Cahuata, 2018).

Los nanomateriales han sido utilizados ampliamente en el campo de la nanomedicina y las ciencias biomédicas debido a sus excelentes propiedades físicas y químicas (Gómez-Quintero y col., 2012). Entre las nanopartículas podemos encontrar los óxidos metálicos que son valiosos por sus características fisicoquímicas, además por su efecto antibacteriano (Mohammed, 2017). El óxido de zinc, un óxido metálico, se usa ampliamente en odontología como material de cementación restauradora, material de obturación del conducto radicular y restauración temporal. Este óxido metálico varía de tamaño de partícula, con tamaños que van desde micrómetros hasta nanómetros. Muchos de los estudios demostraron la eficacia de estas partículas inhibiendo el crecimiento de hongos y bacterias. La inhibición dependió del tamaño de partícula, la concentración y el tipo de microorganismos. Teniendo los mejores efectos antimicrobianos empleando partículas pequeñas menores a 150 nm de tamaño y altas concentraciones (1000  $\mu\text{g/mL}$ ) de ZnO (Kird y col., 2017). Las nanopartículas liberadas del biomaterial pueden penetrar en el tejido y ejercer el efecto terapéutico. Por lo tanto, para lograr efectos terapéuticos y preventivos, la concentración de ZnO liberado no puede ser menor que la concentración inhibitoria mínima (CMI) relativa a los patógenos, pero tampoco puede ser tan alta como para poder generar un efecto citotóxico en las células huésped, como se demostro empleando cultivos primarios de células humanas a partir de la mucosa nasal (Kumar y col., 2016; Kamonkhantikul y col., 2017; Hackenberg y col., 2011). Otro de los problemas de usar nanopartículas es la aglomeración por lo cual se utilizaron nanopartículas modificadas que previamente ya se han estudiado que mejoran la incorporación de éstas en una matriz de PMMA, sin embargo pueden incrementar la citotoxicidad de las nanopartículas (Ramasamy y col., 2014).

Por lo tanto, el objetivo de este estudio es el de determinar si la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc modificadas al polimetilmetacrilato puede llegar a ser citotóxico en células NIH/3T3 (fibroblastos de ratón) *in vitro*.

## Material y métodos

Para el presente estudio se utilizó PMMA termocurado, monómero ácido metilmetacrílico para termocuración de la casa comercial Nic - Tone color rosa. Siendo este el más utilizado para la elaboración de prótesis totales y parciales en el ámbito odontológico.

Se utilizaron nanopartículas de ZnO, las cuales fueron sintetizadas en CIQA (Centro de investigación en Química Aplicada), donde fueron caracterizadas para llevar a cabo esta investigación. Las empleadas fueron obtenidas de la ATCC con el código NIH/3T3 CRL-1658™ (células de fibroblastos de ratón).

## Síntesis de las nanopartículas de ZnO

Se colocaron  $1 \times 10^{-3}$  moles de acetato de zinc dihidratado  $(\text{O}_2\text{CCH}_3)_2(\text{H}_2\text{O})_2$  disueltos en 225 mL de agua destilada. De forma separada se mezclaron  $3 \times 10^{-3}$  moles de trietanolamina  $(\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3)$  y  $2 \times 10^{-3}$  moles n-propilamina  $(\text{C}_3\text{H}_9\text{N})$  con agitación en 1275 mL de etanol  $(\text{C}_2\text{H}_6\text{O})$ , hasta obtener una solución homogénea. Posteriormente ambas soluciones se mezclaron en un matraz de tres bocas soportado por unas pinzas y colocado en un baño de recirculación y agitación constante 450 rpm, se dejó que la temperatura de reacción alcanzara los  $80^\circ \text{C}$ , se mantuvo dicha temperatura por 6 horas contando estas últimas a partir de la primera gota precipitada. El producto obtenido se centrifugó durante 6 min a 5000 rpm y se lavó tres veces con etanol, para eliminar el exceso de reactivos que no terminaron de reaccionar al momento de llevarse a cabo la síntesis de nanopartículas. Posteriormente se dejó secar el precipitado durante 68 h a temperatura ambiente para después recuperar el producto sintetizado el cual tuvo un rendimiento del 88%.

## Caracterización fisicoquímica de las NPs de ZnO

### Difracción de Rayos X (XRD)

Para evaluar las propiedades de las nanopartículas de ZnO se realizó la caracterización química empleando un difractómetro Rigaku radiación  $\text{K}\alpha\text{Cu}$  (25

mA, 35 kV) a temperatura ambiente en un intervalo de barrido de 10 a 80 grados en la escala  $2\theta$ . A una velocidad de 0.02 grados/s. Cada muestra fue colocada en un portamuestras de acero inoxidable con una capacidad de 0.3 g para su respectivo análisis.

### **Microscopia Electrónica de Transmisión (TEM)**

Se utilizó un microscopio electrónico de transmisión FEI-Titan 80–300 kV( $C_s=1.25$  mm) operaterado a 300 kV para observar la morfología y evaluar el tamaño de las de las NZnO. Los polvos estudiados fueron evaluados dispersando un poco de la muestra en etanol, de la cual posteriormente se colocó una pequeña gota en una rejilla de cobre especial para realizar el análisis en el microscopio, dejando secar la gota y por último introducirla al microscopio para apreciar la estructura obtenida.

### **Espectroscopia de Infrarojo con transformada de Fourier (FT-IR)**

Los espectros de infrarrojo de las nanopartículas de ZnO se obtuvieron preparando pastillas de KBr-nanopartícula. Por medio de esta técnica se identificó la estructura química de las nanopartículas, así como la presencia de las especies absorbidas en su superficie. Espectrofotómetro Nicolet Magna 550, utilizando el método ATR en la región de 4000 a 500  $\text{cm}^{-1}$ .

### **Preparación del PMMA**

Se prepararon 35 discos de resina acrílica termopolimerizable (PMMA). De los cuales se hicieron 5 muestras para las diferentes concentraciones de nanopartículas, así como también para las modificaciones las cuales se realizaron para conseguir una mejor dispersión, estas también se dividieron de acuerdo a su concentración de nanopartículas.

Tabla I. Muestras empleadas en el estudio

Muestra	Cantidad de PMMA	Cantidad de Nanopartícula	Con o sin modificación
PMMA	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	Ninguna	Ninguna
0.1%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	7.5 $\mu$ g	Ninguna
0.3%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	22.5 $\mu$ g	Ninguna
0.5%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	37.5 $\mu$ g	Ninguna
0.1%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	7.5 $\mu$ g	Presente
0.3%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	22.5 $\mu$ g	Presente
0.5%	7.5 mL (monómero) + 0.60mg (activador)	37.5 $\mu$ g	Presente

Después se llevaron a un sonificador para dispersar las nanopartículas mediante ultrasonido. Posteriormente se mezcló con el polvo prepolimerizado en una proporción polvo/líquido de 3:1. Se siguieron las instrucciones del fabricante de la

resina acrílica para la termopolimerización mediante un proceso de emulsión utilizando yeso tipo 3 y tipo 2 como revestimiento y moldes de Silicona Z Labor Zermarck en forma de discos. Las muflas se colocaron a baño de agua en una cubeta metálica a 74°C durante dos horas y después se elevó la temperatura a 100°C durante una hora. Los 20 discos fueron estandarizados en tamaño y forma así como pulidos mediante un sistema de acabado para acrílicos.

### **Ensayo de citotoxicidad**

Se evaluó el efecto tóxico de la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc sobre las células de fibroblastos de ratón (3T3) utilizando un formato de contacto directo de acuerdo con las especificaciones de la norma ISO-10993-5: 2009. Para la prueba de citotoxicidad, se preparó la suspensión celular de 10,000 células/mL a partir del cultivo de células. Lixiviados de las muestras se obtuvieron colocándolas en medio DMEM suplementado (suero 10%, antibiótico-antimicótico 1x, L-glutamina 25mM y aminoácidos no esenciales 1x) por 24 horas. A partir de éstos, fueron estimuladas las células sembradas en placas de 96 pocillos y se colocaron en contacto directo con los lixiviados generados por las muestras (100 µl de lixiviado). Se utilizaron 5 pocillos vacíos con células en crecimiento para fines de control (células sin estimular creciendo en DMEM).

La morfología celular se observó visualmente con un microscopio (LabMed) invertido evaluando la calidad de la monocapa celular alrededor de la muestra (10x). La viabilidad celular se determinó utilizando la prueba de reducción de sales de tetrazolio (MTT) que se basa en la capacidad de la succinato deshidrogenasa mitocondrial (SDH) para reducir el anillo de tetrazolio (color amarillo) en un subproducto lineal llamado formazano (azul insoluble). La cantidad de formazán es directamente proporcional al número de células viables [6]. Después de que las células fueron incubadas 24 horas con los lixiviados de las muestras, se retiró el sobrenadante y se agregaron 10 µl de MTT (5mg/mL), para posteriormente incubar

durante 5 horas y después colocar 100 microlitros de DMS con la finalidad de disolver los cristales de formazano. Por último se llevó al lector de microplacas (Microscan Thermofisher) y se leyó a 570 nm. La densidad óptica se convirtió en un porcentaje de viabilidad de las muestras comparando con los controles que representan el 100 % de viabilidad. En relación a la norma ISO-10993-5: 2009 un efecto citotóxico se considera cuando el dispositivo/material empleado induce disminución de la viabilidad debajo de 70%.

### **Análisis estadístico**

Los efectos del porcentaje de incorporación de nanopartículas de óxido de zinc y el tiempo de incubación sobre la viabilidad celular se evaluaron utilizando el ANOVA bidireccional con software estadístico (GraphPad Prism 5.0). Se utilizó el análisis post hoc de Tukey para definir diferencias estadísticamente significativas entre los grupos. La significancia estadística se estableció en  $p < 0,05$ .

### **Resultados**

#### **Caracterización de las Nanopartículas**

En la figura 1 se muestra el patrón de difracción de rayos X del ZnO obtenido de la base de datos del equipo (JCPDS). La muestra para el estudio fue obtenida a partir del uso de etanol a 80 °C. En el difractograma se observan los picos característicos del óxido de Zinc, que corresponden a la estructura hexagonal tipo wurtzita de la estructura del ZnO.

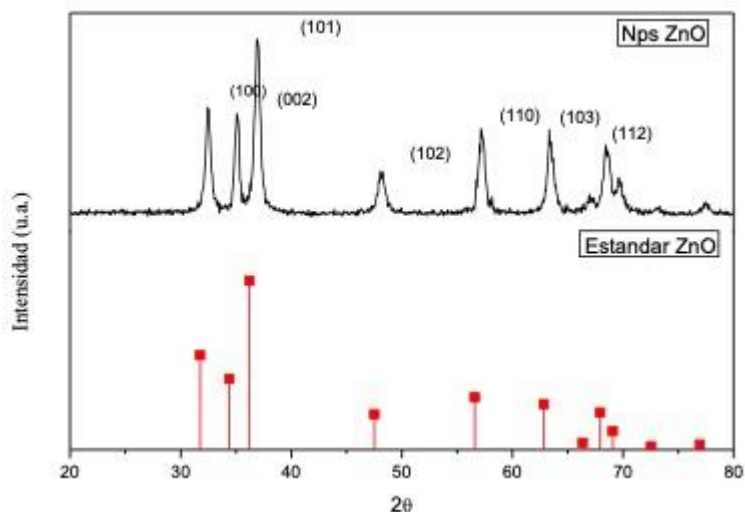


Figura 1. Difractograma de las nanopartículas de óxido de Zinc.  
 Espectroscopia de Infrarrojo

En la Figura 2 se muestran los resultados obtenidos del análisis de FTIR realizado a las nanopartículas de ZnO, donde se observa una banda más intensa a los 500  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al enlace ZnO, característico de este tipo de nanopartículas.

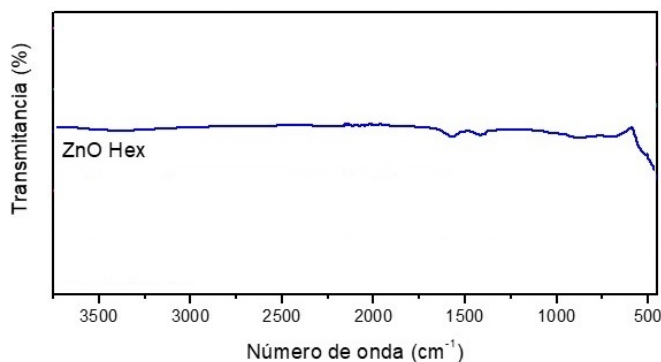


Figura 2. Espectro de infrarrojo de las nanopartículas de ZnO.

En la Figura 3 se puede apreciar la micrografía TEM tomada a las nanopartículas de ZnO sintetizadas mediante hidrólisis química, en donde se observa que las nanopartículas presentaron una morfología hexagonal. Las nanopartículas de ZnO

presentaron un tamaño de 2.1 micras. No apreciando porosidad en la superficie de la nanopartícula.

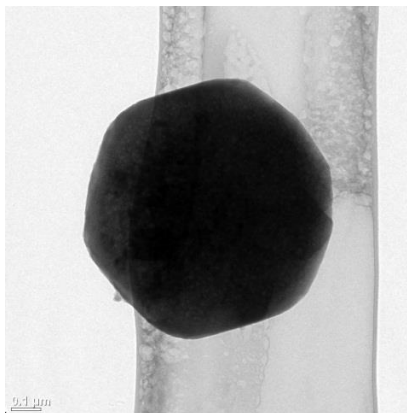
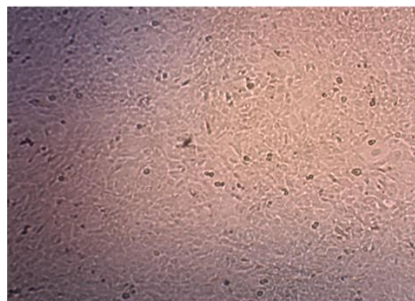


Figura 3. Micrografía TEM de las nanopartículas de ZnO.

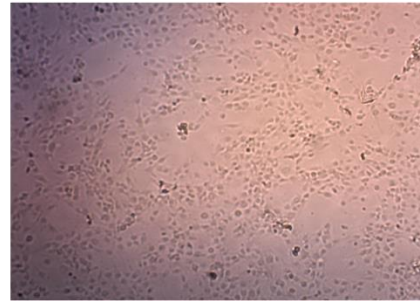
### **Ensayo de citotoxicidad de las películas de PMMA incorporando a las nanopartículas**

La viabilidad celular de los materiales bajo estudio fue obtenida mediante el ensayo MTT y microscopía óptica para observar la morfología de las células (NHI/3T3) (Figura 4). De acuerdo con las características morfológicas en el campo claro tienen un crecimiento normal cubriendo toda la superficie con la monocapa de células (100 % de confluencia celular). En el control, que es el PMMA sin nanopartículas las células tienen una morfología normal, pero presentan espacios con lo cual se observa un retraso en el crecimiento, alcanzando el 50% de confluencia celular. En las células que estuvieron en contacto con las muestras con nanopartículas podemos observar como las células cambian con las concentraciones de 0.3 y 0.5 %m. Las células se observan sin forma regular y con baja adherencia y con baja confluencia celular, lo que sugiere que existen efectos citotóxicos que producen la muerte celular. Estos mismos fenómenos los podemos observar en las células que estuvieron en contacto con las nanopartículas modificadas y este cambio se observa

que va en relación a la concentración. A mayor contenido de NPs de ZnO en las resinas de PMMA los efectos citotóxicos para los fibroblastos incrementan.



Células sin tratamiento  
nanopartículas



Células en PMMA sin

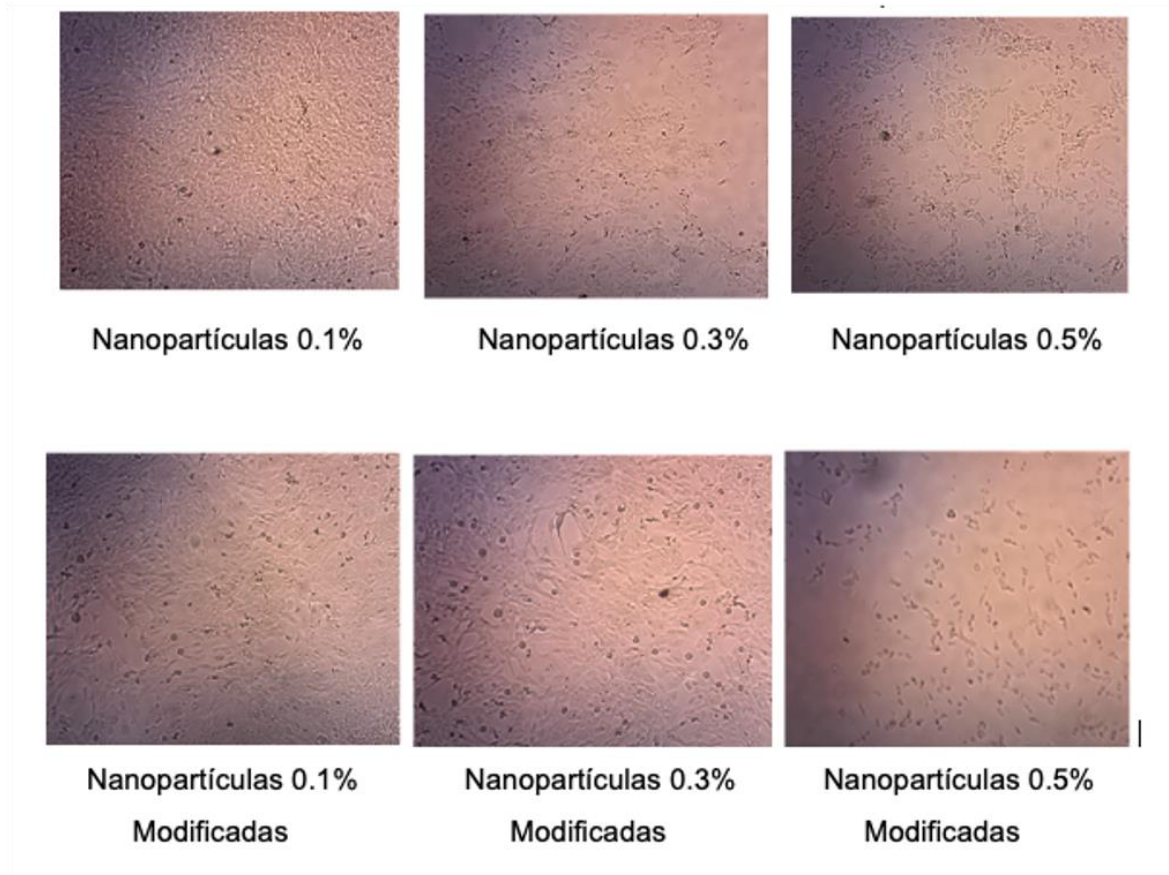


Figura 4. Micrografías de campo claro de fase invertida de las células (NHI/3T3) tratadas con PMMA con nanopartículas de óxido de Zinc con y sin modificar.

En la figura 5 se muestran los resultados del ensayo de MTT se observa que la citotoxicidad está relacionada con la concentración de las NPs de ZnO, ya que a la mayor concentración de 0.5 %m se observa la mayor muerte de las células.

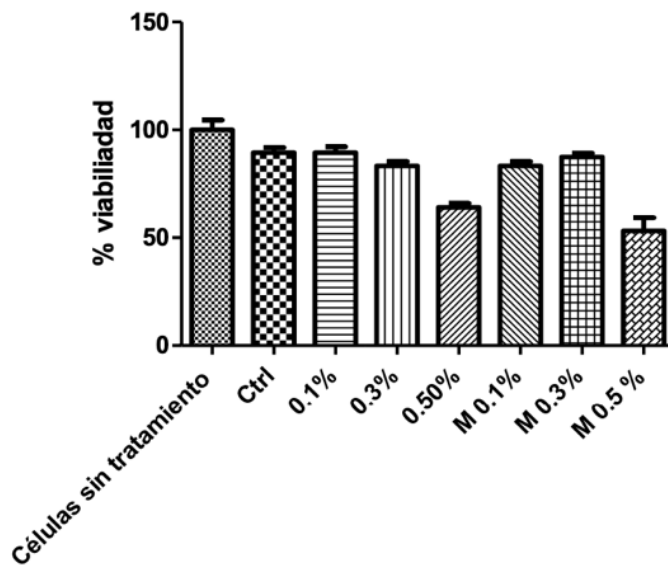


Figura 5. Viabilidad Celular. Las células 3T3 fueron estimuladas con los acrílicos incorporando las nanopartículas de ZnO a diferentes concentraciones. Los experimentos fueron realizados con 5 réplicas cada uno.

El efecto citotóxico más significativo sobre la viabilidad celular fue producido por el grupo de muestra modificado, con un porcentaje 53.18 % de viabilidad (M 0.5%) mientras que el grupo con menor efecto significativo fue la muestra con incorporación de nanopartículas al 0.1% sin modificación (0.1%) con 89.39 % de viabilidad, comparado con respecto al control (células creciendo en DMEM).

### Discusión

El objetivo de la presente investigación fue el de evaluar los efectos citotóxicos de la incorporación de nanopartículas de óxido de zinc en películas de PMMA sobre los fibroblastos *in vitro* para su posterior incorporación en bases para dentaduras. Con los estudios fisicoquímicos se logró caracterizar las nanopartículas de óxido de Zinc. El presente estudio mostró que los niveles de citotoxicidades aumentaron a

mayor concentración de nanopartículas sin tomar en cuenta la modificación. El valor mas alto de citotoxicidad fue dado por la muestra con modificacion con concentración de 0.5%. Los resultados obtenidos indicaron que el óxido de zinc no es un material inerte y puede provocar respuestas biológicas. Estos resultados son similares a los logrados por Paszek y col. (2012) en el que se observó el efecto citotóxico sobre las células endoteliales humanas de los vasos sanguíneos a la concentración de nanopartículas de ZnO de 30 mg/L. Así mismo los resultados del presente estudio tambien se asemejan a los obtenidos por Cierech y otros, en el que los resultados demostraron que la viabilidad de las células disminuyeron significativamente al aumentar las concentraciones de nanopartículas (Cierech y col., 2019; Sirelkhatim y col., 2015).

Es por esto que se implementó el uso de microscopía, en la que la observación de la morfología de las células y su estructura reveló un efecto adverso de las nanopartículas de óxido de zinc para los grupos sin modificación a medida que disminuía la concentración de nanopartículas. Por lo tanto, se confirma los resultados que se obtuvieron mediante el ensayo por MTT. Es relevante el hallazgo que tanto en el estudio de imagen como en el ensayo por MTT, los grupos tanto con o sin modificación con concentraciones de 0.1 %m, 0.3 %m no revelaron efectos adversos de las nanopartículas en las células.

## **CONCLUSIONES**

La incorporación de nanopartículas de ZnO en resinas de PMMA a la concentración de 0.5 %m fueron citotóxicas en las células NHI/3T3 como se demostró tanto en la actividad mitocondrial de la célula correlacionado con la morfología. Por lo tanto, se sugiere el uso de nanopartículas como material aditivo para base de dentaduras postizas sin ejercer un efecto citotóxico sobre las células, principalmente las modificadas con concentraciones de nanopartículas de óxido de zinc al 0.3 %m que fueron las que exhibieron una menor citotoxicidad y mayor viabilidad celular.

## Referencias

Allen, P., McMillan, A. (2003). A review of the functional and psychosocial outcomes of edentulousness treated with complete replacement dentures. *Journal of the Canadian Dental Association*, 69:662.

Babayevska, N., Przysiecka, Ł., Iatsunskyi, I., Nowaczyk, G., Jarek, M., Janiszewska, E., & Jurga, S. (2022). ZnO size and shape effect on antibacterial activity and cytotoxicity profile. *Scientific reports*, 12(1): 8148. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12134-3>

Cierech, M., Wojnarowicz, J., Kolenda, A., Krawczyk-Balska, A., Prochwicz, E., Woźniak, B., ... & Mierzwińska-Nastalska, E. (2019). Zinc oxide nanoparticles cytotoxicity and release from newly formed PMMA–ZnO nanocomposites designed for denture bases. *Nanomaterials*, 9(9): 1318.

Cunha-Cruz, J., Nadanovsky, P. (2007). Secular trends in socio-economic disparities in edentulism: USA, 1972–2001. *Journal of Dental Research*, 86:131-136.

Douglass, C.W., Shih, A., Ostry, L. (2002). Will there be a need for complete dentures in the United States in 2020? *Journal of Prosthetic Dentistry*, 87:5-8.

Emami, E., Freitas de Souza, R., Kabawat, M., Feine, J.S. (2013). The Impact of Edentulism on Oral and General Health. *International Journal of Dentistry*, 2013:1-7.

Gallegos Puma, V. C., & Bernal Cahuata, R. C. (2018). Estudio comparativo in vitro del efecto antifúngico de dos productos comerciales desinfectantes de prótesis removibles sobre *Candida albicans*, Cusco-2017. Universidad Andina del Cusco. Disponible: <https://repositorio.uandina.edu.pe/handle/20.500.12557/1744>

Gómez-Quintero T., Acosta-Torres L.S., Hernández-Padrón G., Campos P., de la Fuente, Castaño V.M. (2012). Nanopartículas con efecto antifúngico en prótesis dentales, *Ide@s CONCYTEG*, 7 (87):1101 – 1112.

Hackenberg, S., Scherzed, A., Technau, A., Kessler, M., Froelich, K., Ginzkey, C., Koehler, C., Burghartz, M., Hagen, R., & Kleinsasser, N. (2011). Cytotoxic, genotoxic and pro-inflammatory effects of zinc oxide nanoparticles in human nasal mucosa cells in vitro. *Toxicology in vitro : an international journal published in association with BIBRA*, 25(3): 657–663. <https://doi.org/10.1016/j.tiv.2011.01.003>

Kamonkhantikul, K., Arksornnukit, M., Takahashi, H. (2017). Antifungal, optical, and mechanical properties of polymethylmethacrylate material incorporated with silanized zinc oxide nanoparticles. *International Journal of Nanomedicine*, 12:2353–2360.

Kumar, R., Umar, A., Kumar, G. y Nalwa, S. (2016). Antimicrobial Properties of ZnO Nanomaterials: A Review. *Ceramics International*, 43(5):3940-3961. DOI: [10.1016/j.ceramint.2016.12.062](https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.12.062)

Mohammed, A.A.-R. (2020). The epidemiology of edentulism and the associated factors: A literature Review. *Journal of Family Medicine and Primary Care*, 9: 1841-1843.

Mohammed, M.G., Al-Thobity A.M., Yshahin, S., Alsaqer B.T., Aiman, A. (2017). Inhibitory effect of zirconium oxide nanoparticles on *Candida albicans* adhesion to repaired polymethyl methacrylate denture bases and interim removable prostheses: a new approach for denture stomatitis prevention. *International Journal of Nanomedicine*, 12, 5409–5419.

Paszek, E., Czyz, J., Woźnicka, O., Jakubiak, D., Wojnarowicz, J., Łojkowski, W., & Stępień, E. (2012). Zinc oxide nanoparticles impair the integrity of human umbilical vein endothelial cell monolayer in vitro. *Journal of biomedical nanotechnology*, 8(6): 957-967.

Ramasamy, M., Das, M., An, S. S., & Yi, D. K. (2014). Role of surface modification in zinc oxide nanoparticles and its toxicity assessment toward human dermal

fibroblast cells. *International journal of nanomedicine*, 9: 3707–3718.  
<https://doi.org/10.2147/IJN.S65086>

Sirelkhatim, A., Mahmud, S., Seeni, A., Kaus, N.H., Ann, L.C., Bakhori, S.K., Hasan, H., Mohamad, D. (2015). Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism. *Nano-Micro Letters*, 7(3):219-242.

Stober, T., Danner, D., Lehmann, F., Séché, A.C., Rammelsberg, P., Hassel, A.J. (2012). Association between patient satisfaction with complete dentures and oral health-related quality of life: two-year longitudinal assessment. *Clinical Oral Investigations*, 6(1):313-318. doi: 10.1007/s00784-010-0483-x

## **Nanotubos de carbono: aspectos generales y sus aplicaciones actuales**

### **Carbon nanotubes: general aspects and their current applications**

Alma Rosa Torres-Rodríguez<sup>1</sup>, Aidé Sáenz-Galindo<sup>1\*</sup>, Rosa Idalia Narro-Céspedes<sup>1</sup>, Adalí  
Oliva Castañeda-Facio<sup>1</sup>, Christian Javier Cabello-Alvarado<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias Químicas, Departamento de Polímeros, Universidad Autónoma de  
Coahuila, Blvd. Venustiano Carranza y José Cárdenas Valdés, Código Postal 25280,  
Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup> CONAHCYT-Consorcio de Investigación Científica, Enrique Reyna H. 140, San José de  
los Cerritos, 25294 Saltillo, Coahuila, México.

\*Autor de correspondencia: [aidesaenz@uadec.edu.mx](mailto:aidesaenz@uadec.edu.mx)

## **Resumen**

En este trabajo de revisión se describe brevemente los aspectos generales más importantes de los nanotubos de carbono (NTC), así como sus tipos, estructuras, propiedades eléctricas, térmicas, mecánicas, ópticas y químicas, métodos de síntesis, funcionalización y algunas de las aplicaciones actuales en las que estos se han visto involucrados en estos últimos años en el área de la ciencia y nanotecnología. Sin embargo, se espera que estos puedan ser utilizados en el futuro como parte de la vida cotidiana en su incorporación en materiales compuestos para la fabricación de dispositivos eléctricos y de almacenamiento, en el área de la salud en biosensores, así como marcadores de algunas enfermedades, o sustituyendo a algunos otros materiales en la industria.

**Palabras clave:** Nanotubos de carbono, estructura, propiedades, síntesis, funcionalización.

## **Abstract**

This review paper describes the most important general aspects of carbon nanotubes (CNT), as well as their types, properties (mechanical, electrical, conductive, etc.), synthesis methods, functionalization and some applications in that these have been involved in recent years in the area of science and nanotechnology. However, it is expecting that these can be used in the future as part of daily life in their incorporation into composite materials for the electronics manufacturing and storage, in the health area in biosensors, as well as markers of some diseases, or change some materials in the industry.

**Keywords:** Carbon nanotubes, structures, properties, synthesis, functionalization.

## **Introducción**

En los últimos años los nanomateriales a base de grafeno han presentado una amplia variedad de aplicaciones. Dentro de los cuales encontramos a los nanotubos de carbono (NTC), los cuales fueron descubiertos por primera vez por Sumio Iijima en 1991 (Raval y col., 2018). Los NTC son ligeros, insolubles y pueden llegar a formar suspensiones coloides en el medio ambiente (Pandey y Chusuei, 2021). Son una forma alotrópica del carbón, los cuales son

cilindros concéntricos debido al enrollamiento del grafeno. Además, de acuerdo al número de capas que los conforman existen diferentes tipos. Si los NTC están constituidos por una sola capa concéntrica se les conoce como nanotubos de carbono de pared simple (NTCPS), si tienen dos capas como nanotubos de carbono de pared doble (NTCPD) y si están formados por más de dos capas se les denomina como nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM) (Pandey y Chusuei, 2021; Wang y col., 2009; Wei y col., 2021). Gracias a la estructura que poseen, presentan excelentes propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas. Se ha llegado a reportar que poseen una alta resistencia a la tracción de 100 GPa, su conductividad térmica puede alcanzar los  $6000 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  y su conductividad eléctrica  $2 \times 10^7 \text{ Sm}^{-1}$  (Wang y col., 2022).

Sintetizar los NTC es un proceso costoso y difícil, ya que se requieren presión y temperaturas altas (alrededor de  $500^\circ\text{C}$ ). Sin embargo, hoy en día se han reportado procesos a bajas temperaturas y menos costosos en los cuales no se aplica presión (Thauer y col., 2020). Se ha descubierto que al funcionalizarlos químicamente introduciendo grupos funcionales, como lo son carboxilo y amino aumentan sus aplicaciones, ya que permiten aumentar su solubilidad y se genera el enlace adicional para poder unirlos con otros compuestos, aumentando así sus aplicaciones.

En el presente artículo de revisión se describen aspectos generales de los NTC, tipos, propiedades, métodos de síntesis y funcionalización, así como aplicaciones que se les han dado actualmente en diferentes áreas.

### **Tipos de NTC**

Desde su descubrimiento en 1991 por Sumio Iijima, los NTC han presentado características importantes que los han destacado de otros materiales. Existen tres tipos, nanotubos de carbono de pared simple (NTCPS), de pared doble (NTCPD) y multicapa (NTCPM). Debido a su estructura y propiedades particulares han sido utilizados en un sinnúmero de aplicaciones desde el área médica y biomédica hasta en aplicaciones en la industria automotriz.

a. Nanotubos de carbono de pared simple (NTCPS).

Los NTCPS están formados por una sola capa o lámina de grafeno envuelta. Tienen un diámetro que oscila entre 0,4 y 2 nm y generalmente se presentan empaquetados hexagonalmente, además de ser estructuras unidimensionales. Estos poseen capacidades eléctricas distintas a los NTCPM por lo que han sido empleados para sistemas microelectromecánicos. Son excelentes conductores, sin embargo, una gran desventaja que presentan es que son muy caros de sintetizar y no existen actualmente técnicas que sean menos costosas para poder producirlos de manera comercial dentro de la industria (Raval y col., 2018; Anzar y col. 2020).

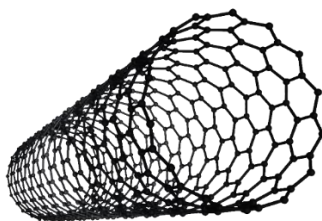


Fig.1 Estructura de los nanotubos de carbono de pared simple (NTCPS).

b. Nanotubos de carbono de pared múltiple (NTCPM).

Los NTCPM están formados por más de dos capas o láminas de grafeno enrolladas de manera coaxial para formar un cilindro o tubo con un diámetro que va de 1-3 nm, además, la distancia entre cada capa es de 0.34 nm. Debido a su forma son bastante sólidos, sin embargo, eso no significa que no tengan imperfecciones o defectos en su estructura. Son resistentes a la tensión (100 veces más que el acero), y de acuerdo a su quiralidad pueden ser conductores o semiconductores (Raval y col., 2018; Anzar y col. 2020).

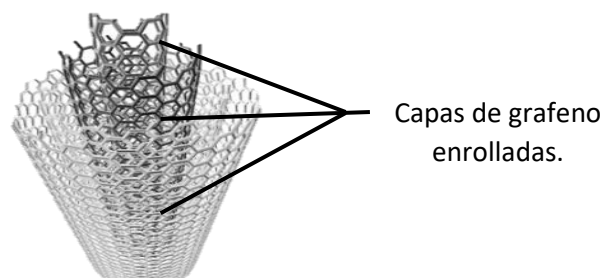


Fig. 2 Nanotubos de carbono de pared múltiple (MTCNM).

### Estructuras de los NTC

Existen tres tipos de morfología de los NTC de acuerdo a su estructura química, las cuales son:

1. Zigzag, en este tipo de estructura pueden comportarse como conductores o semiconductores.
2. Sillón (armchair), se comportan como metales y por tanto permiten conducir la corriente eléctrica.
3. Quirales, con materiales conductores.

La figura 3 presenta los tres tipos de estructuras que pueden llegar a presentar los NTC.

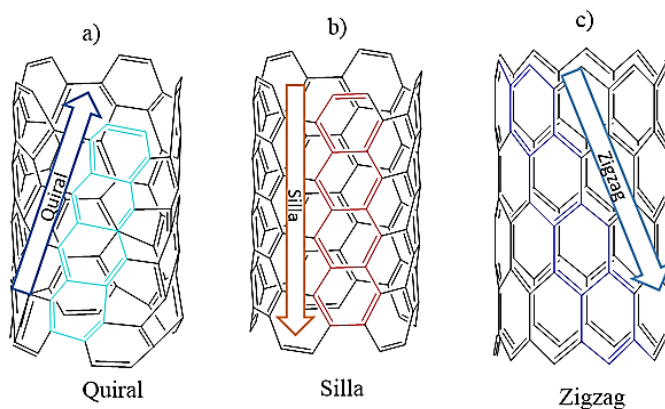


Fig. 3 Morfología de los nanotubos de carbono: a) Quiral, b) Silla y c) Zigzag (elaboración propia).

## Propiedades de los NTC

Los NTC presentan diferentes propiedades de acuerdo a la estructura que los constituye.

### i. Propiedades eléctricas.

Los NTC pueden actuar como conductores o semiconductores, esto dependerá de los parámetros de Hamada  $n-m$ , los cuales indican la forma de enrollamiento que está formando al NTC, es decir, zigzag, silla o quiral). Cuando el valor de este parámetro es múltiplo de 3, se considera como un material semiconductor (figura 4). Cuando los NTC se encuentran ante una señal electromagnética, pueden tener un comportamiento resistivo, capacitivo e inductivo. Además, pueden llegar a deformarse en presencia de un campo eléctrico por fuerzas electrostáticas y tienen la capacidad de transformar la luz en electricidad o producir luz al inyectarles un exceso de carga (Raja y Sabha, 2014).

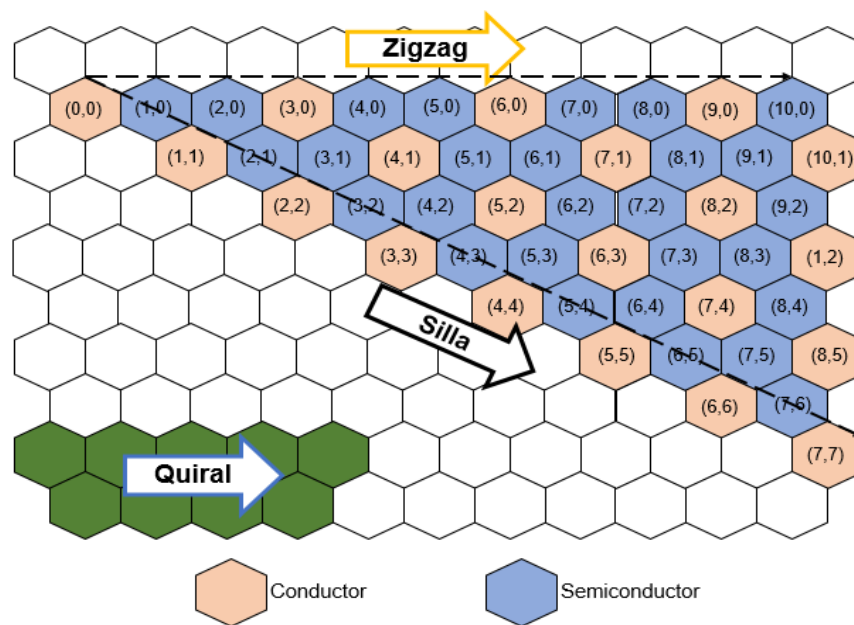


Figura 4. Carácter electrónico de las posibles estructuras de los NTC de acuerdo al parámetro Hamada  $n-m$  (elaboración propia).

ii. Propiedades térmicas.

Los NTC son realmente estables a temperaturas elevadas y pueden presentar una alta conductividad térmica en la dirección del eje del nanotubo (aproximadamente de  $6000 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ). Es importante destacar que esta propiedad puede ser transferida a los compuestos o nanocompuestos elaborados con NTC, por lo que se pueden elaborar materiales que sean buenos conductores térmicos por un extremo o dirección, pero con capacidad aislante del otro (Raja y Sabha, 2014).

iii. Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los NTC se destacan por ser excepcionales, ya que presentan alta dureza, resistencia mecánica, flexibilidad, elasticidad y tenacidad, además de ser muy ligeros. Poseen una elongación del 10%, resistencia a la tracción de  $1.35 \text{ gcm}^{-3}$  y un módulo de Young de 1TPa. Estas propiedades están muy por encima de otros materiales, por lo que, gracias a esto, se ha despertado un gran interés de los NTC tanto para la industria como en la investigación (Raja y Sabha, 2014; Baskaran y col. 2006).

iv. Propiedades ópticas.

Al ser iluminados con luz visible, los NTC pueden producir corrientes eléctricas o viceversa. Además, presentan fotoluminiscencia y absorben radiación visible e infrarroja. Al igual que las propiedades mecánicas y eléctricas, las propiedades ópticas también pueden transferirse al material en que se encuentren los NTC, mejorando sus características finales (Raja y Sabha, 2014; Baskaran y col. 2006).

v. Propiedades químicas.

Al estar formados por carbono, los NTC pueden permitir el acoplamiento de estructuras químicas en sus paredes y los extremos, lo cual ocasionará modificaciones en sus propiedades (Raja y Sabha, 2014; Baskaran y col. 2006).

En la Tabla 1 se muestran algunas propiedades generales de los NTC.

Tabla 1. Propiedades generales de los NTC.

<b>Propiedades</b>	<b>NTC</b>
Diámetro	0.4-5 nm
Estabilidad a la temperatura	Estable a >2800°C en vacío y >750°C en aire.
Densidad	1.33-1.40 g-cm <sup>3</sup>
Fuerza de tensión	45x10 <sup>12</sup> Pa
Conductividad eléctrica	Aproximada a 1x10 <sup>12</sup> Acm <sup>-2</sup>

### Síntesis de los NTC

#### a. Método de descarga de arco.

En este método se emplean dos electrodos de grafito de alta pureza de 0.5 a 40 mm, en el cual uno es el ánodo y el otro cátodo, ambos se mantienen a corta distancia bajo una atmósfera de helio, se conectan a una fuente de alimentación con un voltaje de 20-50 V. Bajo estas condiciones se produce una chispa de corriente de 50-120 A entre las barras, en donde parte del carbono se evapora del ánodo y se re condensa como un cilindro duro en la varilla del cátodo. Un parámetro importante en este método es la corriente que se aplica, ya que, si es mayor se produce un material sintetizado con baja cantidad de NTC libres. Las altas temperaturas son necesarias para esta técnica (600-1000°C), por lo que puede haber diferencia de arreglos en la red de los tubos, haciendo difícil el control de la quiralidad y diámetro de los NTC (Kumar y col., 2020).

Usando el método de descarga de arco se puede obtener NTC de cientos de micrones de largo, tanto de pared simple como de pared múltiple con pocos defectos estructurales. Una desventaja que presenta este método es que no es fácil de escalar, además de que en ocasiones

se requiere la adición de catalizadores metálicos para aumentar el rendimiento de los NTC (Raja y Sabha, 2014; Raval y col., 2018).

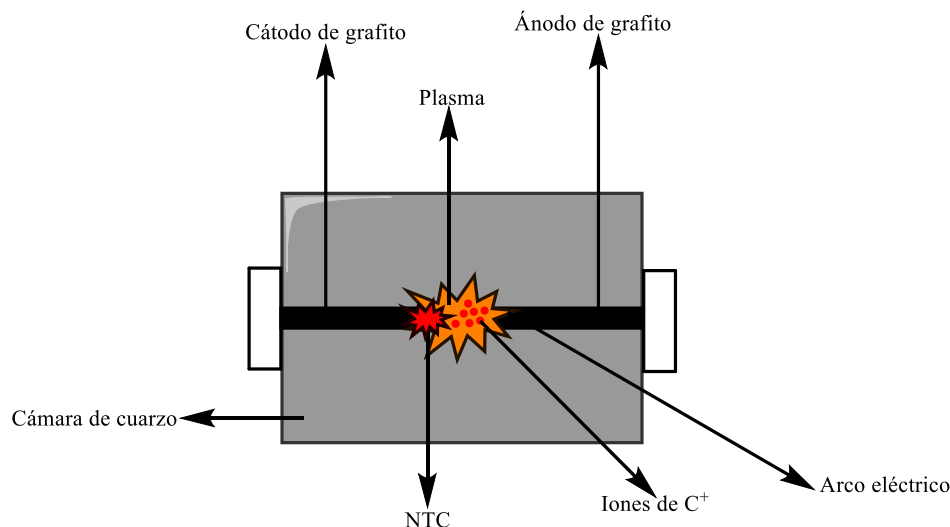


Figura 5. Representación esquemática del método de descarga de arco (Adaptado (Kumar y col., 2020)).

#### b. Ablación laser.

El método de ablación por láser es utilizado para la producción de NTCPS en masa. En éste se emplea un láser para vaporizar un objetivo de grafito en un ambiente controlado con atmósfera inerte (argón o helio) con una temperatura del horno a 1200°C. El material condensado contiene una gran cantidad de NTC.

El método más actual de ablación laser emplea catalizadores de cobalto y níquel para dopar el objetivo de grafito, con el fin de poder alinear el crecimiento de los NTC durante el proceso (Raja y Sabha, 2014; Raval y col., 2018).

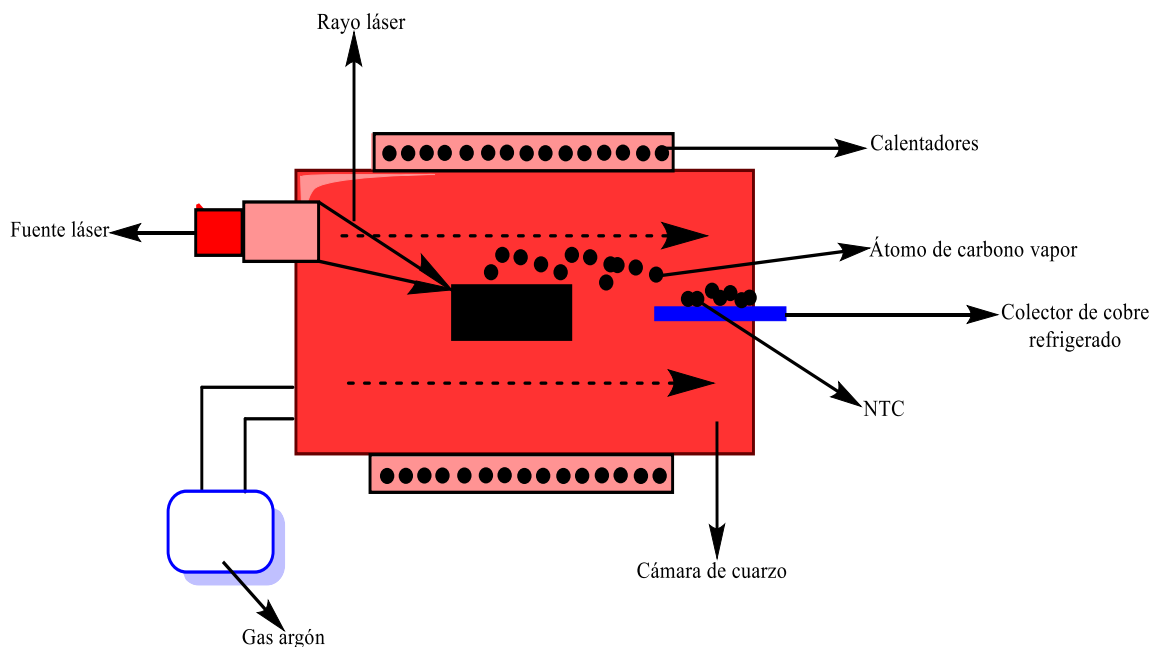


Figura 6. Representación esquemática del método de ablación láser (adaptado (Kumar y col., 2020)).

c. Deposición de vapor químico.

Un grupo de investigadores de la Universidad de Rice bombardeó un metal con pulsos intensos de láser para producir moléculas más extravagantes, y sin darse cuenta descubrieron que habían producido NTC. Este es el método de síntesis considerado como el mejor para la obtención de NTCPS, ya que son obtenidos con alta pureza y a su vez puede ser escalado para producir grandes cantidades. El proceso se lleva a cabo en un reactor tubular a una temperatura entre 550-950°C, el cual lleva a cabo la descomposición de hidrocarburos asistida empleando un catalizador, que puede ser nanopartículas de Fe, Ni o Co. Este es un proceso que se lleva a cabo en continuo, ya que la fuente de carbono siempre se está alimentando con el gas de interés que fluye.

Una gran ventaja de este método es la obtención de matrices alineadas de NTC con diámetro y longitud controlados. Además, presenta un rendimiento de hasta 70% en peso. Se puede fabricar en un área de sustrato seleccionada, a una temperatura baja si se utiliza la técnica

con plasma, sin embargo, una gran desventaja es el costo elevado del láser que se utiliza (Raja y Sabha, 2014; Raval y col., 2018).

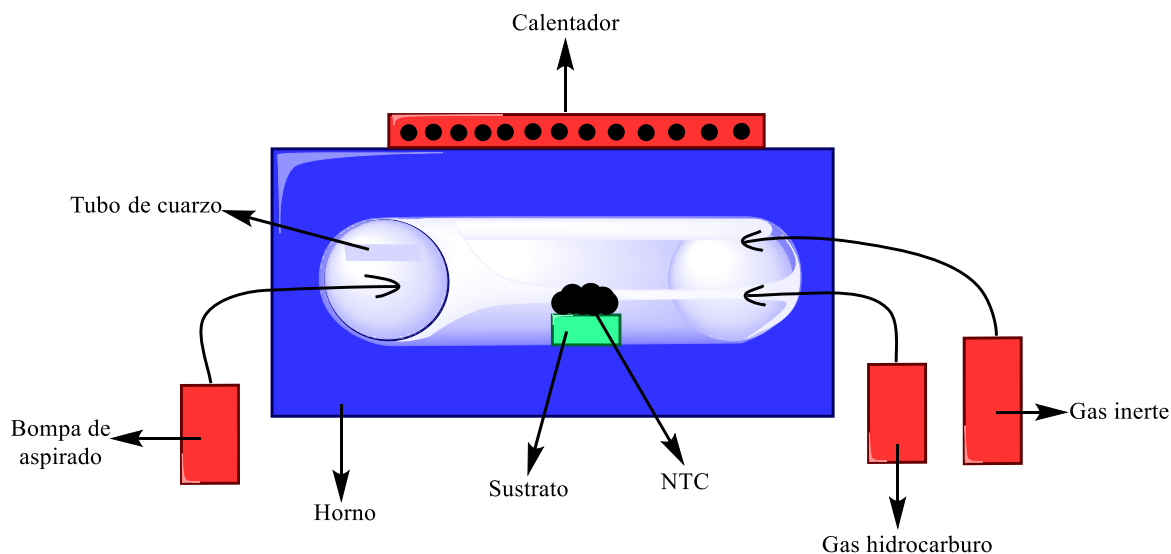


Figura 7. Representación esquemática del método de deposición de vapor químico (adaptado (Kumar y col., 2020)).

#### d. Deposición de vapor químico catalítico.

A diferencia del método de vapor químico, las nanopartículas de Fe, Ni y/o Co son depositadas de forma directa formando una fina lámina de 1-50 nm de espesor, el sustrato se mantendrá en una solución diluida con HF y agua destilada, la cual se colocará en una cubeta de cuarzo y se pondrá en un horno de atmósfera inerte con gas de helio a baja presión, en donde se formarán las partículas de metal catalítico de tamaño nanométrico, posteriormente se le dará un grabado adicional usando gas de metano, acetileno o benceno a una temperatura de 750-1050°C. Los NTC crecerán en las partículas de metal catalítico. La formación de estas partículas es el proceso más importante por lo que hay que tener sumo cuidado para evitar que se degraden. Los NTC que se obtienen suelen ser de pared múltiple con numerosos defectos y una resistencia a la tracción menor a los obtenidos por el método de descarga de arco (Raja y Sabha, 2014; Raval y col., 2018).

## **Funcionalización de los NTC**

Los NTC presentan excelentes propiedades térmicas, eléctricas, ópticas y químicas, lo cual hace que sean excelentes candidatos para una gran variedad de aplicaciones como en la fabricación de sensores biológicos (Zhou y col., 2017), en celdas fotovoltaicas como material activo de adsorción de luz (Grace y col., 2017), en la elaboración de celdas de litio (Fang y col., 2017), biomedicina (Xue, 2017), por mencionar algunas. Sin embargo, presentan baja estabilidad de dispersión en disolventes polares. Para poder entender claramente cómo actúan los NTC, se debe considerar lo siguiente:

- ✓ Una dispersión es una mezcla que está formada por dos o más componentes, la cual está constituida por una fase dispersa y una fase dispersante. La fase dispersa se encuentra en menor proporción y la fase dispersante se encuentra en mayor cantidad respecto a la cantidad total en la mezcla.
- ✓ Una disolución es una mezcla homogénea de dos o más sustancias, la cual está compuesta por un soluto y un disolvente. El soluto es el de menor cantidad en la mezcla.
- ✓ La solubilidad por su parte es considerada como la máxima de soluto (partículas) que se pueden disolver en cierto volumen de disolvente a una temperatura dada (Guldi y Martin, 2010).

La formación de coloides o suspensiones es debido a la dispersión, también se obtienen disoluciones como resultado de la solubilidad de iones de un soluto o moléculas de un disolvente. Una disolución se considera estable cuando es homogénea y no hay separación de las fases después de un tiempo determinado. Además, contienen al soluto en un tamaño molecular o a nivel iónico por debajo de 1 nm. Por otro lado, los coloides son sustancias opacas, no estables y el tamaño de sus partículas oscila entre 1 nm a 1000 nm, siendo estas dimensiones suficientes para poder dispersar la luz. Sus partículas se pueden encontrar suspendidas, dependiendo del equilibrio coloidal (Guldi y Martin, 2010).

Los NTC presentan una dispersión coloidal y no una disolución, por lo cual se han llevado a cabo diversos estudios de funcionalización, ya que estos son insolubles en agua. La

funcionalización consiste en añadir grupos funcionales, partículas o moléculas que permitan un cambio de polaridad sobre la superficie de los NTC, lo cual ocasionará una modificación a sus propiedades debido a que estas quedarán unidas a los defectos estructurales naturales de los NTC. Al llevar a cabo una funcionalización de forma adecuada, los NTC pueden dispersarse en distintos disolventes, además, se genera una mejor interacción con otras moléculas (partículas metálicas, cerámicas, polímeros, etc.), volviéndose más atractivos para poder llevar a cabo un sinnúmero de aplicaciones en diferentes áreas (González Velázquez, 2015).

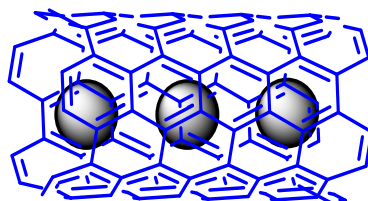
Para mejorar las propiedades de los NTC se puede llevar a cabo las siguientes uniones:

- ↳ Reacción química con los NTC.
- ↳ Sustitución de los átomos de carbono por átomos de otros elementos o grupos funcionales.
- ↳ Anclaje de grupos funcionales en la apertura final de los NTC.
- ↳ Anclaje de grupos funcionales en las paredes de los NTC.
- ↳ Decoración de las paredes exteriores de los NTC.
- ↳ Relleno de las cavidades interiores de los NTC mediante la inserción de átomos o moléculas en el espacio intertubular (González Velázquez, 2015).

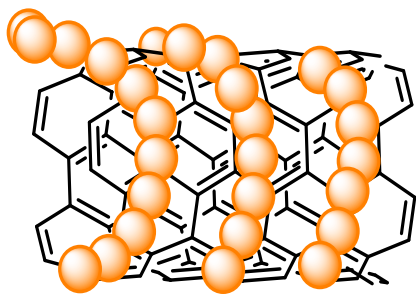
De acuerdo al tipo de unión, la funcionalización puede ser:

- a. Funcionalización endoédrica. Se lleva a cabo por la inserción de moléculas o partículas en las paredes internas de los NTC. Para este tipo de funcionalización se utilizan dos diferentes métodos, el primero consiste en la penetración espontánea mediante suspensión de nanopartículas coloidales, las cuales se introducirán en el interior de los NTC mediante la evaporación del disolvente portador. El segundo consiste en introducir el precursor en el interior de los NTC para posteriormente transformarse mediante medios químicos o térmicos.
- b. Funcionalización exoédrica. Es aquella en la que se lleva a cabo el anclaje de grupos funcionales o moléculas en la superficie de los NTC. Puede ser de dos tipos:

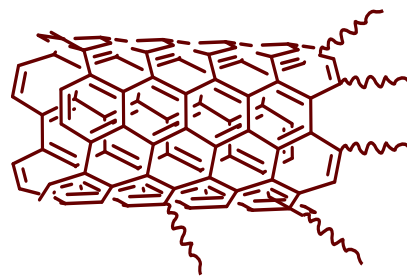
- **Funcionalización covalente.** Es aquella en la cual se lleva a cabo la creación de grupos funcionales en las paredes de los NTC mediante una reacción química. Las más comunes son las llevadas a cabo con grupos amino y carboxilo. Este tipo de funcionalización permite un cambio en la hibridación del carbono de  $sp^2$  a  $sp^3$ , sin embargo, presenta una gran desventaja, ya que se puede comprometer la integridad de las paredes de los NTC dañándolas de manera irreversible (Andrade y col., 2012).
- **Funcionalización no covalente.** Se lleva a cabo mediante la adsorción de moléculas no covalentes, mediante las fuerzas de van der Waals y fuerzas electrostáticas sin necesidad de crear defectos estructurales permitiendo así, conservar las propiedades mecánicas y de transporte de los NTC. Este tipo de funcionalización se puede llevar a cabo empleando tecnologías alternas como lo es el ultrasonido y el microondas, con las cuales se puede obtener una mejor dispersión de los NTC, lo cual ayudará a tener una mejor interacción entre los grupos funcionales y los carbonos en hibridación  $sp^2$  (Guldi y Martin, 2010).



a) Funcionalización endoédrica



b) Funcionalización exoédrica no covalente



c) Funcionalización exoédrica covalente

Figura 8. Tipos de funcionalización de NTC (elaboración propia).

### Aplicaciones actuales

Como ya se ha mencionado, gracias a las propiedades que presentan los NTC pueden ser empleados en una gran variedad de aplicaciones. En la Tabla 2 se muestran los diferentes trabajos y/o aplicaciones en las que se han empleado los NTC recientemente, desde su uso en sensores táctiles a base de nanoplaquetas de grafeno, hasta como sustitutos de aleaciones permitiendo a estas aumentar sus propiedades eléctricas. Además, se ha podido mejorar las propiedades de diferentes materiales como el acrílico al adicionar NTCPM aumentando sus propiedades de tracción y resistencia al impacto.

**Tabla 2. Aplicaciones de los NTC en los últimos 10 años en diferentes áreas.**

Titulo	Aplicación	Referencia
Aplicación de nanotubos de carbono preparados a partir de residuos plásticos a materiales de cambio de fase: el potencial para la gestión térmica de baterías	Se produjeron NTC a partir de desechos plásticos como nanorrelleno en material de cambio de fase (PCM). El compuesto preparado tiene un potencial similar al NTCc y muestra un rendimiento destacado como relleno conductor fluido para sistemas de gestión térmica de baterías.	(Wang y col., 2022)

<p>Efecto del dodecilsulfato de sodio en la mejora de la absorción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S de nanotubos de carbono de pared múltiple funcionalizados en agua: estudio experimental y modelo empírico</p>	<p>Se investigó el efecto de la hidrodinámica de adsorción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S utilizando una columna de absorción de una sola burbuja en agua pura y nanofluidos a base de agua dispersos con NTCPM funcionalizados con OH y NH<sub>2</sub> puros. Se encontró que la absorción máxima de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S fue de 0,0038 mol · m<sup>-2</sup> s y 0,056 mmol m<sup>-2</sup>s utilizando NH<sub>2</sub>-NTCPM /nanofluido con un contenido de 0,5 % en peso.</p>	<p>(Jafari y Ameri, 2022)</p>
<p>Sensores táctiles capacitivos estirables de grafeno y nanofibras de carbono para aplicaciones de piel robótica.</p>	<p>Fabricación de sensores táctiles electrónicos estirables mediante recubrimiento por pulverización de nanoplaquetas de grafeno conductoras o nanofibras de carbono.</p>	<p>(Yaragalla y col., 2021)</p>
<p><b>Tabla 2. Aplicaciones de los NTC en los últimos 10 años en diferentes áreas. Continuación.</b></p>		
<p>Nanocompuestos funcionalizados con NTCPM/NPs de plata como biosensores electroquímicos no enzimáticos para la</p>	<p>Se sintetizaron nanocompuestos funcionalizados de nanotubos de NTCPM/nanopartículas de plata (f-MWCNT/AgNP) como material de biodetección para detectar DA. Mediante pruebas de caracterización de SEM, TEM y EDS se determinó que el nanocompuesto NTCPM/AgNP es un material biosensores prometedor para la detección de DA.</p>	<p>(Anshori y col., 2021)</p>

---

detección de dopamina (DA)		
Resistividad eléctrica de la unión de soldadura Sn-3.0Ag-0.05Cu con la incorporación de nanotubos de carbono	Se adicionan NTC a una soldadura de Sn-3.0Ag-0.5Cu, esto para evitar el uso de soldadura pura a granel. Se demostró que la adición de los nanotubos no modifica la microestructura de la soldadura, ni modifica sus propiedades, sino que se observó un aumento en electricidad de la soldadura modificada.	(Ismail y col., 2021)
Rendimiento de compuestos a base de epoxi con nanotubos de carbono de paredes múltiples y copolímero acrílico de tres bloques	Se reforzó la red epoxi-amina al adicionar el compuesto BMG-NTCPM funcionalizados (7.1 % BMG y 0.4% NTCPM). Con esto se pudo aumentar las propiedades de tracción y resistencia al impacto de los compuestos aumentando de 11.25 y 36.4% respectivamente.	(Li y col., 2019)
Rendimiento y durabilidad a largo plazo de los nanocompuestos de policarbonato/NTC.	Se realizó una investigación para predecir el tiempo hasta la falla a largo plazo de los nanocompuestos de policarbonato/NTC basado en la experimentación a corto plazo con una aplicación tanto para la fluencia como para la fatiga.	(Pastukh ov y col., 2018)

---

**Tabla 2. Aplicaciones de los NTC en los últimos 10 años en diferentes áreas. Continuación.**

---

<p>Un nanosistema modificado inmunológicamente basado en la unión no covalente entre NTCPS y quitosano glicosilado</p>	<p>Se investigó las características de unión de NTCPS y quitosano glicosilado mediante simulaciones de dinámica molecular. Los resultados de las simulaciones demostraron que el quitosano glicosilado se unía a los NTCPS mediante una fuerte interacción no covalente.</p>	<p>(Saha y col., 2018)</p>
<p>Compuestos inteligentes reforzados con nanotubos de carbono para detectar la temperatura de congelación y descongelar por autocalentamiento.</p>	<p>Se fabricaron compuestos poliméricos reforzados con NTC mediante una mezcla con polidimetilsiloxano. Concluyeron que que a una concentración de 7% de NTC y a al aumentar el grosor el material adquiriría alta conductividad eléctrica. Además, se observó que los NTC son sensibles a la temperatura por lo que se pueden utilizar como revestimiento inteligente para descongelar por autocalentamiento.</p>	<p>(Jang y Park, 2018)</p>
<p>Observaciones de un nuevo mecanismo de fortalecimiento en nanocompuestos de HDPE.</p>	<p>Se desarrolló un nuevo mecanismo de fortalecimiento a nivel molecular de nanocompuestos NTC/HDPE producido por intercalación de fusión. Las propiedades mecánicas del nanocompuesto mostraron una mejora en el módulo de tracción y la resistencia máxima del material de HDPE puro en un 30 % y un 8 %.</p>	<p>(Okolo y Inam, 2018)</p>
<p>Una nueva generación de nanomateriales a base carbono para aplicaciones biomédicas.</p>	<p>Compuestos a base de grafeno utilizados en el área de la biomedicina, específicamente para el desarrollo de biosensores, acarreadores de fármacos hidrófobos, sustrato para la regeneración celular y liberación controlada de fármacos debido a sus propiedades eléctricas, ópticas, el área superficial y estructura.</p>	<p>(Andrade y col., 2012)</p>

**Tabla 2. Aplicaciones de los NTC en los últimos 10 años en diferentes áreas. Continuación.**

<p>Áreas de nanotubos de carbono-impresas en sustratos textiles y de papel.</p>	<p>Se prepararon estructuras de carbono mediante impresión flexográfica utilizando dispersiones de NTCPM en agua. Los NTC se aplicaron a un sustrato textil hecho de microfilamentos de poliéster y poliamida y a papel recubierto por ambos lados para producir capas conductoras de electricidad con aplicación en elementos calefactores.</p>	<p>(Fisher y col., 2011)</p>
---------------------------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------

**Conclusiones**

Mediante la presente investigación se concluyen aspectos importantes de los NTC, así como algunas de las aplicaciones que han tenido dentro de la investigación en la ciencia y nanotecnología en los últimos años, haciéndolos un nanomaterial interesante que aún se desconoce hasta donde llegan sus alcances. Sus aplicaciones van desde la industria biomédica hasta la eléctrica, en donde se han utilizado para la fabricación de biosensores, biopolímeros; así como nanomateriales para mejorar la conductividad eléctrica y capacidad térmica para ser utilizados en baterías, calefactores, o simplemente como complemento de otros materiales para potencializar sus propiedades o fortalecerlas dándoles estabilidad estructural. Debido a que muchas de estas aplicaciones solo se han hecho como parte de una investigación se espera que en el futuro realmente puedan ser utilizados como parte de materiales compuestos dentro de la industria para la fabricación de materiales de uso cotidiano como lo son los dispositivos electrónicos, marcadores moleculares para enfermedades o como materiales conductores a partir de matrices poliméricas, solo por mencionar algunas.

## **Agradecimientos**

Se agradece a la Universidad Autónoma de Coahuila, a la Facultad de Ciencias Químicas, a la Maestría en Ciencia y Tecnología Química, de igual manera se agradece la beca con número 816345 otorgada por CONACYT para el desarrollo de dicha investigación, así como al apoyo proporcionado por el proyecto SEP-CONACyT Ciencias Básica 2017-2018 CB2017-2018 A1-S-44977.

## **Referencias**

- Anshori, I., Nuraviana Rizalputri, L., Rona Althof, R., Sean Surjadi, S., Harimurti, S., Gumilar, G., Yulianto, B., & Handayani, M. 2021. Functionalized multi-walled carbon nanotube/silver nanoparticle (f-MWCNT/AgNP) nanocomposites as non-enzymatic electrochemical biosensors for dopamine detection. *Nanocomposites*, 7(1): 97-108. <https://doi.org/10.1080/20550324.2021.1948242>
- Anzar, N., Hasan, R., Tyagi, M., Yadav, N., & Narang, J. 2020. Carbon nanotube: A review on Synthesis, Properties and plethora of applications in the field of biomedical science. *Sensors International*, 1: 100003. <https://doi.org/10.1016/j.sintl.2020.100003>
- Baskaran, D., King, R. H. Crabtree, C. M. Lukehart, D. A. Atwood, & R. A. 2006. Carbon: Nanotubes. Scott (Eds.), *Encyclopedia of Inorganic Chemistry* (p. ia306). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470862106.ia306>
- Fang, S., Shen, L., & Zhang, X. 2017. Application of Carbon Nanotubes in Lithium-Ion Batteries. En *Industrial Applications of Carbon Nanotubes* (pp. 251-276). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41481-4.00009-5>
- Fischer, T., Wetzold, N., Elsner, H., Kroll, L., & Hübler, A. 2011. Carbon Nanotube Areas-Printed on Textile and Paper Substrates. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 1: 3. <https://doi.org/10.5772/50946>

González Velázquez, V. (2015). *Nanomateriales de Carbono, síntesis, funcionalización y aplicaciones* [Tesis doctoral inédita]. Universidad Carlos III de Madrid.

Grace, T., Shearer, C., Tune, D., Yu, L., Batmunkh, M., Biggs, M. J., AlOthman, Z. A., & Shapter, J. G. 2017. Use of Carbon Nanotubes in Third-Generation Solar Cells. En *Industrial Applications of Carbon Nanotubes* (pp. 201-249). *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41481-4.00008-3>

Guldi, D. M., & Martin, N. 2010. Carbon nanotubes and related structures: Synthesis, characterization, functionalization, and applications. *Wiley-VCH*. <https://doi.org/10.1002/9783527629930>

Hirsch, A., & Vostrowsky, O. 2006. Functionalization of Carbon Nanotubes. En T. J. J. Miller & U. H. F. Bunz (Eds.), *Functional Organic Materials* (pp. 1-57). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527610266.ch1>

Ismail, N., Jalar, A., Afdzaluddin, A., & Bakar, M. 2021. Electrical resistivity of Sn-3.0Ag-0.5 Cu solder joint with the incorporation of carbon nanotubes. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 11, 184798042199653. <https://doi.org/10.1177/1847980421996539>

Jafari Farsaani, D., & Ameri, E. 2022. Effect of sodium dodecyl sulfate on CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S absorption enhancement of functionalized multiwall carbon nanotubes in water: Experimental study and empirical model. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(12): 104314. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104314>

Jang, S., & Park, Y. 2018. Carbon nanotube-reinforced smart composites for sensing freezing temperature and deicing by self-heating. *Nanomaterials and Nanotechnology*, 8: 184798041877647. <https://doi.org/10.1177/1847980418776473>

Kumar Jagadeesan, A., Thangavelu, K., & Dhananjeyan, V. 2020. Carbon Nanotubes: Synthesis, Properties and Applications. En P. Pham, P. Goel, S. Kumar, & K. Yadav (Eds.), *21st Century Surface Science. A Handbook*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.92995>

Li, H., Liu, Z., Gu, J., Wang, D., Qu, C., Bai, X., & Qiao, Y. 2019. Performances of epoxy-based composites with multi-wall carbon nanotubes and acrylic tri-block copolymer. *Nanocomposites*, 5(1): 28-35. <https://doi.org/10.1080/20550324.2019.1601804>

Okolo, C., & Inam, F. 2018. Observations of a novel strengthening mechanism in HDPE nanocomposites. *Nanocomposites*, 4(4): 215-222. <https://doi.org/10.1080/20550324.2018.1558798>

Pandey, R., & Chusuei, C. 2021. Carbon Nanotubes, Graphene, and Carbon Dots as Electrochemical Biosensing Composites. *Molecules*, 26(21): 6674. <https://doi.org/10.3390/molecules26216674>

Pastukhov, L., Mercx, F., Peijs, T., & Govaert, L. 2018. Long-term performance and durability of polycarbonate/carbon nanotube nanocomposites. *Nanocomposites*, 4(4): 223-237. <https://doi.org/10.1080/20550324.2018.1558799>

Raja, M., & Subha, J. (2014). A. Tiwari & S. K. Shukla, Wiley (Ed.), *Carbon Nanotubes and Their Applications*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118895399.ch5>. Fecha de consulta: 20 de abril de 2023.

Raval, J. P., Joshi, P., & Chejara, D. R. (2018). Biomaterials. In Woodhead (Ed.), *Carbon nanotube for targeted drug delivery*. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813741-3.00009-1>. Fecha de consulta: 22 de abril de 2023.

Saha, L., Nag, O., Doughty, A., Liu, H., & Chen, W. 2018. An Immunologically Modified Nanosystem Based on Noncovalent Binding Between Single-Walled Carbon Nanotubes and Glycated Chitosan. *Technology in Cancer Research & Treatment*, 17, 153303381880231. <https://doi.org/10.1177/1533033818802313>

Thauer, E., Ottmann, A., Schneider, P., Möller, L., Deeg, L., Zeus, R., Wilhelmi, F., Schlestein, L., Neef, C., Ghunaim, R., Gellesch, M., Nowka, C., Scholz, M., Haft, M., Wurmehl, S., Wenelska, K., Mijowska, E., Kapoor, A., Bajpai, A., ... Klingeler, R. 2020.

Filled Carbon Nanotubes as Anode Materials for Lithium-Ion Batteries. *Molecules*, 25(5): 1064. <https://doi.org/10.3390/molecules25051064>

Wang, F., Zhao, S., Jiang, Q., Li, R., Zhao, Y., Huang, Y., Wu, X., Wang, B., & Zhang, R. 2022. Advanced functional carbon nanotube fibers from preparation to application. *Cell Reports Physical Science*, 3(8): 100989. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100989>

Wang, W., Lu, F., Veca, L. M., Mezziani, M. J., Wang, X., Cao, L., Gu, L., & Sun, Y. P. 2009. Carbon Nanotubes and Nanocomposites for Electrical and Thermal Applications. En R. B. King, R. H. Crabtree, C. M. Lukehart, D. A. Atwood, & R. A. Scott (Eds.), *Encyclopedia of Inorganic Chemistry* (p. ia356). John Wiley & Sons, Ltd. <https://doi.org/10.1002/0470862106.ia356>

Wang, Y., Bailey, J., Zhu, Y., Zhang, Y., Boetcher, S., Li, Y., & Wu, C. 2022. Application of carbon nanotube prepared from waste plastic to phase change materials: The potential for battery thermal management. *Waste Management*, 154: 96-104. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.10.003>

Wei, H., Zhan, H., Wang, Y., Gu, Y., Wang, S., Zhang, Z., & Li, M. 2021. Impacts from the stacking morphology on the tensile performance of double-walled carbon nanotube bundles. *Carbon*, 178: 345-354. <https://doi.org/10.1016/j.carbon.2021.03.023>

Xue, Y. 2017. Carbon Nanotubes for Biomedical Applications. En *Industrial Applications of Carbon Nanotubes* (pp. 323-346). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41481-4.00011-3>

Yaragalla, S., Dussoni, S., Zahid, M., Maggiali, M., Metta, G., Athanasiou, A., & Bayer, I. S. 2021. Stretchable graphene and carbon nanofiber capacitive touch sensors for robotic skin applications. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 101: 348-358. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.05.048>

Zhou, M., Wang, Z., & Wang, X. 2017. Carbon Nanotubes for Sensing Applications. En Industrial Applications of Carbon Nanotubes (pp. 129-150). *Elsevier*.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-41481-4.00005-8>

## **Modelado Cinemático de Mecanismos Robóticos empleando Redes Neuronales**

### **Kinematic Modeling of Robotic Mechanisms using Neural Networks**

**Héctor A. Moreno<sup>1</sup>, J. Fidencio Flores<sup>2</sup>, Isela G. Carrera<sup>1</sup>, J. Rolando Rodríguez<sup>1</sup>,  
Roberto G. Adán<sup>1</sup>, Mario A. García-Murillo<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Universidad Autónoma de Coahuila,  
Barranquilla S/N, Guadalupe, 25750, Monclova, Coahuila, México.

<sup>2</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Coahuila, Instituto Politécnico  
Nacional. Gustavo Díaz Ordaz 1011, Pueblo Nuevo, 25500 San Buenaventura, Coahuila,  
México.

<sup>3</sup>Departamento de Ingeniería Mecánica, DICIS, Universidad de Guanajuato, 36885,  
Salamanca, Guanajuato, México.

Correo electrónico: [h\\_moreno@uadec.edu.mx](mailto:h_moreno@uadec.edu.mx)

## **RESUMEN**

Desde los inicios de la robótica ingenieros e investigadores ha dedicado varios esfuerzos al estudio del modelado cinemático de mecanismos robóticos. Este modelado es esencial para la simulación, el diseño, la planificación de trayectorias y el control de esta clase de dispositivos. A medida que fueron surgiendo nuevas arquitecturas de robots, cuya cinemática es irresoluble analíticamente, se comenzaron a proponer modelos basados en métodos computacionales. En este documento se presenta, a manera didáctica, diversos conceptos relativos al modelado cinemático de mecanismos robóticos empleando redes neuronales. Primero se presenta una introducción al modelado cinemático de robots y una revisión a las técnicas que se ha propuesto en la literatura científica. Posteriormente, se ofrece una breve explicación sobre diferentes términos que existen el área de la inteligencia artificial, el machine learning y las redes neuronales. Luego de ello se describen algunos trabajos relevantes que se han hecho en el modelado cinemático empleando redes neuronales, los procedimientos para diseño de arquitecturas y los principales criterios de desempeño que hay que considerar. Finalmente se presenta un ejemplo de la aplicación de las redes neuronales al modelado de una rueda híbrida de geometría variable y se describe el software empleado para ello.

**PALABRAS CLAVE:** Modelo cinemático, Redes Neuronales, Robótica, Diseño e Implementación.

## **ABSTRACT**

Since the beginning of robotics, engineers and researchers have devoted several efforts to the study of the kinematic modeling of robotic mechanisms. This modeling is essential for the simulation, design, trajectory planning and control of this class of devices. As new robot architectures emerged, whose kinematics cannot be solved analytically, models based on computational methods began to be proposed. This paper presents, in a didactic way, several concepts related to the kinematic modeling of robotic mechanisms using neural networks.

First, an introduction to kinematic modeling of robots and a review of the techniques that have been proposed in the scientific literature are presented. Subsequently, a brief explanation of different terms that exist in the area of artificial intelligence, machine learning and neural networks is given. This is followed by a description of some relevant works that have been done in kinematic modeling using neural networks, the procedures for architecture design and the main performance criteria to be considered. Finally, an example of the application of neural networks to the modeling of a variable geometry hybrid wheel, and the use of software for this purpose, is presented.

**KEYWORDS:** Kinematic model, Neural Networks, Robotics, Design and Implementation.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un robot es un dispositivo que mediante la interacción física con el ambiente realiza una tarea o misión comandada por un usuario. Estos dispositivos pueden ser teleoperados o contar con diversos niveles de autonomía. La interacción física se realiza a través del sistema mecánico del robot. Este sistema puede estar compuesto de una plataforma de locomoción (terrestre, acuática, o aérea), un brazo robótico, y un efector final o herramienta. Dada la relevancia del sistema mecánico de un sistema robótico, la comunidad científica dedicada a la robótica ha realizado desde sus inicios estudios sobre del modelado matemático de la mecánica de estos dispositivos.

El modelado matemático de mecanismos robóticos tiene dos áreas principales, el modelado cinemático y el modelado dinámico. El modelado cinemático de un robot consiste en encontrar las ecuaciones algebraicas que relacionan los movimientos de los actuadores del robot (motores eléctricos, neumáticos o hidráulicos) con los movimientos del efector final que realiza la tarea de interés. Por otra parte, el modelado dinámico de un robot consiste encontrar las ecuaciones que relacionan las fuerzas y torques generados por los actuadores con los movimientos que se producen el robot y las fuerzas que se aplican en el efector final.

Ambos modelos juegan un papel fundamental en el estudio del desempeño de robots a través de simulación, en el diseño mecánico y en el control al ejecutar una tarea.

Inicialmente era deseable que el modelo cinemático de un robot se obtuviera analíticamente, resolviendo ecuaciones algebraicas que proveían soluciones de forma cerrada. A medida que surgieron nuevas arquitecturas de robots, cuya cinemática era irresoluble analíticamente se comenzaron a proponer modelos basados en métodos numéricos. En este documento se presenta, a manera didáctica, diversos conceptos relativos al modelado cinemático de mecanismos robóticos empleando redes neuronales. En la siguiente sección se explica en que consiste el modelado cinemático de robots y una revisión a las técnicas que se ha propuesto en la literatura científica. Posteriormente, se presenta una explicación sobre diferentes términos que existen el área de la inteligencia artificial, el machine learning y las redes neuronales. Luego de ello se describen algunos trabajos relevantes que se ha hecho al respecto, los procedimientos para diseño de arquitecturas de redes neurales y los principales criterios de desempeño que hay que considerar. Finalmente se presenta un ejemplo de la aplicación de las redes neuronales al modelado de una rueda híbrida de geometría variable, y el empleo de software para ello.

## **2. MODELADO CINEMÁTICO DE MECANISMOS ROBÓTICOS**

El modelado cinemático de un robot consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las coordenadas operacionales del robot y sus variables articulares; las *coordenadas operacionales* describen la situación (posición y orientación) del órgano terminal, con respecto a un marco de referencia fijo; y las *variables articulares* son las que definen la posición relativa de un eslabón de la cadena cinemática con respecto al precedente.

### **2.1 MODELADO CINEMÁTICO DE POSICIÓN**

En este modelado se obtienen las ecuaciones que permiten determinar las coordenadas operacionales (posiciones y orientaciones del eslabón de interés) a partir de las variables articulares (ángulos y longitudes controlados por los actuadores).

El *modelado cinemático directo de posición* consiste en encontrar una función que nos permita determinar los valores del vector de coordenadas operaciones  $\mathbf{x}$ , conocidos los valores del vector de variables articulares  $\mathbf{q}$ :

$$\mathbf{x} = \mathbf{f}(\mathbf{q})$$

Por otro lado, existe también el *modelado cinemático inverso de posición*, en este caso se obtiene vector de variables articulares  $\mathbf{q}$  dado valores del vector de coordenadas operaciones  $\mathbf{x}$ :

$$\mathbf{q} = \mathbf{f}^{-1}(\mathbf{x})$$

Este modelado es el que permite al robot realizar las tareas siguiendo los puntos en el espacio programados.

Generalmente, en el modelado cinemático de posición los sistemas de ecuaciones son trascendentes y en ciertos casos no es posible obtener una solución de manera analítica. En estos casos es donde se han empleado métodos numéricos para resolver las soluciones respectivas.

## 2.2 MODELADO CINEMÁTICO DE VELOCIDAD

El *modelado cinemático directo de velocidad* consiste en la determinación de las relaciones existentes entre las velocidades articulares y las velocidades operacionales del robot; dichas relaciones generalmente se representan de la siguiente manera:

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{J}\dot{\mathbf{q}}$$

Donde  $\dot{\mathbf{x}} = \frac{dx}{dt}$  es el vector de velocidades operacionales,  $\dot{\mathbf{q}} = \frac{dq}{dt}$  es el vector de velocidades articulares y  $\mathbf{J}$  es una matriz jacobiana. El *modelado cinemático inverso de velocidad* se obtiene fácilmente al invertir la matriz jacobiana:

$$\dot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^{-1}\dot{\mathbf{x}}$$

La obtención de estos modelos es relativamente sencilla, consiste en derivar las ecuaciones de posición y posteriormente expresar el sistema de ecuaciones lineales en forma matricial.

En mecánica de robots se han realizado varios estudios en los que se emplea la matriz Jacobiana para evaluar el desempeño cinemático del mecanismo robótico en posiciones particulares o globalmente en el espacio de trabajo. Diversos índices de desempeño basados en la matriz Jacobiana se han empleado tanto para la planificación de trayectorias como para el diseño óptimo (Moreno y col., 2012).

### 2.3 MODELADO CINEMÁTICO DE ACELERACIÓN

Derivando la ecuación de velocidad se pueden obtener las relaciones de aceleración de las variables cinemáticas, en este caso el modelo cinemático directo de aceleración está dado por la siguiente expresión:

$$\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{J}\ddot{\mathbf{q}} + \dot{\mathbf{J}}\dot{\mathbf{q}}$$

Donde,  $\ddot{\mathbf{x}}$  es el vector de aceleraciones operacionales,  $\ddot{\mathbf{q}}$  es el vector de aceleraciones articulares y  $\dot{\mathbf{J}}$  es la derivada temporal de la matriz jacobiana. El modelo cinemático inverso de aceleración se obtiene de la siguiente forma:

$$\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{J}^{-1}(\ddot{\mathbf{x}} - \dot{\mathbf{J}}\dot{\mathbf{q}})$$

## 2.4 MODELADO CINEMÁTICO BASADO EN MÉTODOS NUMÉRICOS

Como se mostró en los apartados anteriores, únicamente el modelado cinemático de posición es el que presenta dificultades para resolverse analíticamente. Tanto los problemas de velocidad y aceleración consisten de ecuaciones lineales, fácilmente resolubles con los métodos del álgebra lineal. Se puede clasificar en términos generales a los modelos cinemáticos de posición de robots en:

- **Modelos Analíticos.** Estos modelos se obtienen a partir de resolver las ecuaciones del análisis de posición y obtener soluciones en forma cerrada. Siempre es deseable obtener modelos analíticos ya que su precisión numérica es la máxima y son computacionalmente más eficientes. Para arquitecturas de robots sencillas es posible obtener estas soluciones en forma cerrada y generalmente involucran sistemas de ecuaciones trascendentes. En robots seriales la cinemática directa se obtiene fácilmente mediante las matrices de transformación homogénea, mientras que es más difícil resolver la cinemática inversa, y en ciertas arquitecturas no es posible. En robots paralelos sucede lo contrario en ambos casos.
- **Modelos Cuasi-analíticos.** Estos modelos consisten en resolver la cinemática obteniendo parte de las incógnitas de manera analítica, y el resto de a través de un método computacional. En (Yime y col., 2011) se presenta el análisis de un robot paralelo con cinemática desacoplada, en donde la cinemática directa se resuelve analíticamente para el problema de posición y mediante el algoritmo de Newton-Raphson para el problema de orientación. En (Sadjadian y Taghirad, 2005) se resuelve la cinemática directa de un robot paralelo redundante, para ello se formula el problema de manera dos elementos de la matriz de orientación (la cual define el resultado de la cinemática directa) se obtienen numéricamente resolviendo un problema de optimización con restricciones. Posteriormente el resto de los elementos de la matriz de rotación se obtienen analíticamente a partir de los valores de esos dos elementos.

- **Modelos Numéricos.** Cuando no es posible obtener de manera analítica la solución de las ecuaciones de posición, se recurre a obtener la solución mediante métodos computacionales. Algunos de estos métodos son iterativos y otros se obtienen de expresiones cuyos parámetros son previamente determinados. La principal desventaja de emplear estos métodos es que siempre estará presente un margen de error, el cual se puede disminuir, sin embargo, se requerirá de un mayor coste computacional.
- **Uso de Sensores Extra.** Algunos investigadores han propuesto la resolución de la cinemática mediante la obtención de información adicional proveniente de sensores adicionales de posición (Baron y Angeles, 2000). Conociendo los valores de ciertas variables cinemáticas mediante la medición directa a través de sensores es posible simplificar las ecuaciones de posición y resolverlas para determinar la solución de la cinemática directa. Algunas dificultades que se han encontrado en este esquema es el ruido presente en las señales de los sensores.

En la literatura científica se pueden encontrar diferentes propuestas para resolver numéricamente la cinemática de mecanismos robóticos, estas estrategias son:

- **El método de Newton- Raphson.** Este método es muy empleado para encontrar la solución a ecuaciones o sistemas de ecuaciones cuya solución analítica no es posible. Esta técnica es procedimiento iterativo, para lo cual se requiere la obtención de una matriz jacobiana que se emplea para calcular nuevos valores del vector de incógnitas que se acercan cada vez más a la solución del sistema. Si el vector de incógnitas converge a un valor, y el error de entre nuevos sucesivos cálculos es menor que un determinado valor, entonces se dice que el algoritmo encontró una solución (Puglisi y col., 2017). Este algoritmo tiene como desventaja que no asegura convergencia. Por otro lado, dependiendo del valor inicial el algoritmo puede converger a otro valor que no corresponde a la solución esperada. Finalmente, el número de iteraciones necesarias para encontrar una solución no es posible de determinar.

- **Aproximación por Series de Taylor.** En este esquema la solución de la cinemática se aproxima mediante una serie de potencias de Taylor. El número de coeficientes de la expansión viene determinado por el grado de precisión requerido. Resolver el problema de la cinemática consiste en calcular los coeficientes de la serie. En (Sadjadian y Taghirad, 2005) se consideraron diferentes trayectorias para el efector final y se determinaron los correspondientes desplazamientos del actuador utilizando la cinemática inversa. A continuación, se utilizó el par de datos para calcular los coeficientes de la expansión de Taylor utilizando la estimación por mínimos cuadrados a partir de los datos obtenidos de diversas trayectorias en el espacio de trabajo.
- **Redes Neuronales Artificiales.** Una de las características más interesantes de las redes neuronales es su capacidad para aproximar funciones no lineales. Además, los esquemas de redes neuronales son independientes de la estructura del sistema, lo que da lugar a un enfoque robusto con respecto a los cambios del entorno. Conocido de manera analítica un modelo cinemático se entrena una red neuronal con los datos obtenidos de la exploración del espacio de trabajo, obteniendo pares de datos de entradas y salidas, y con ello se generará el modelo inverso basado en la red neuronal. Una vez generado el modelo, el cálculo de la cinemática correspondiente no es un proceso iterativo, si no consiste en ejecutar las operaciones aritméticas y matriciales para el cálculo de las variables de salida, con un coste computacional constante.

A continuación, se presenta una explicación sobre diferentes términos que existen el área de la inteligencia artificial, el machine learning y las redes neuronales, de manera de que la sección de la aplicación de las redes neuronales al modelado cinemático sea más clara.

### **3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y REDES NEURONALES**

En esta sección se explican los conceptos de Inteligencia Artificial (IA), Aprendizaje Automático (Machine Learning) y Aprendizaje Profundo (Deep Learning). Los conceptos de Machine Learning, Inteligencia Artificial y Deep Learning, llegan a parecer lo mismo, pero

en realidad son diferentes aunque manejan algunas relaciones. A continuación se explican los conceptos de cada uno de ellos, sus tipos y la diferencia entre ellos.

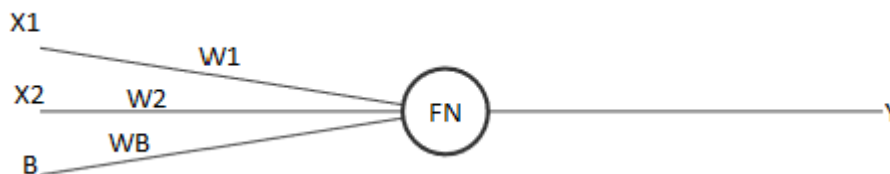
La inteligencia artificial es un área de las ciencias computacionales que se encarga de buscar por medio de algoritmos la representación más cercana al conocimiento, en donde este incluye la toma de decisiones, el reconocimiento de objetos, la interpretación de ideas y así mismo es capaz de evolucionar para adaptarse en entornos multidisciplinarios.

### 3.1 REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Las concepción de las redes neuronales surge de imitar por medio de modelos matemáticos de aproximación el comportamiento de las neuronas biológicas y su combinación para generar redes neuronales avanzadas.

Una red neuronal como en la **Figura 1** se compone de lo siguiente:

- $X$  – Entradas del sistemas
- $B$  – Bias
- $W$  – Pesos de las Entradas
- $FN$  – Funcion de Activacion
- $Y$  – Salida del sistema



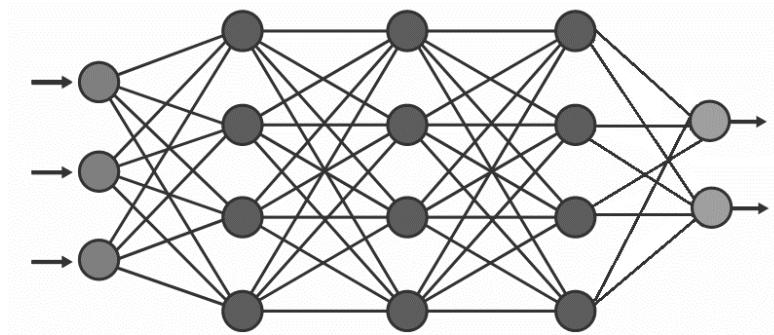
**Figura 1** Estructura de una neurona artificial

La estructura de la **Figura 1** se comporta de tal manera que a cada entrada  $X$  se le asigna un peso  $W$ , en donde este peso es la importancia que tiene la entrada en el sistema para la toma de la decisión, el peso asignado se multiplica por su entrada, para posteriormente sumarse con  $B$  y obtener un valor que es introducido dentro de la función de activación  $FN$ , de las cuales pueden ser una función Gaussiana, Sigmoide, Trapezoidal, entre otras posibilidades, y finalmente obtener la señal de salida  $Y$ .

La selección de la función de activación se realiza al ejecutar el modelo y determinar cuál es la que mejor rendimiento tiene, este rendimiento se puede medir al momento de realizar lo que se denomina entrenamiento de la neurona.

Al hablar de entrenamiento nos referimos en plasmar la experiencia ya cuantificada que se tiene y dividirla en datos de entrenamiento y de verificación para saber que tan exacto queda el modelo.

Una vez que se tiene ya el modelo verificado se puede tomar como válido e introducir datos diferentes a los usados para entrenamiento y esperar una respuesta con un grado de exactitud y predicción acorde a la precisión buscada.



Capa de entrada

Capas ocultas

Capa de salida

*Figura 2 Ejemplo de una red neuronal artificial*

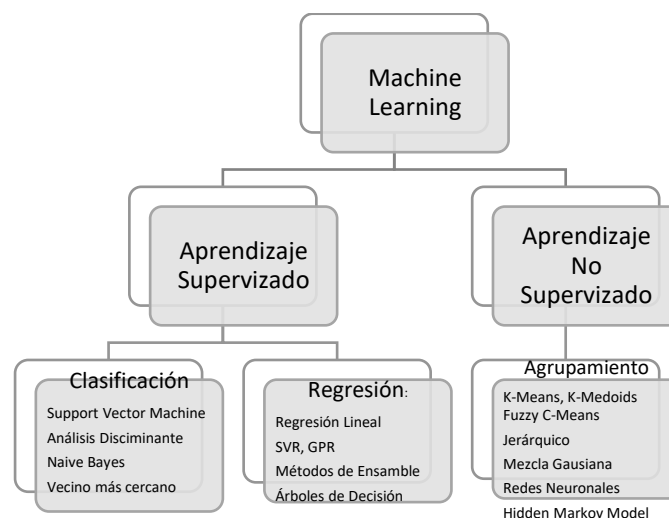
Cuando se tiene que tomar decisiones con una mayor complejidad se agrupan las neuronas para formar redes neuronales, en las cuales cada una de las neuronas se comporta de acuerdo con lo ya visto anteriormente y la salida de cada neurona es la entrada en la siguiente capa del sistema **Figura 2**.

### 3.2 APRENDIZAJE AUTOMÁTICO (MACHINE LEARNING)

Los algoritmos de Machine Learning, son algoritmos que se han desarrollado para encontrar patrones naturales en los datos que generan información y que ayuda a hacer mejores decisiones y predicciones. Los algoritmos de Machine Learning utilizan métodos computacionales para aprender información directamente de los datos sin relacionarse sobre ecuaciones predeterminadas como lo es un modelo. Se han encontrado aplicaciones, por ejemplo, para hacer decisiones críticas en el diagnóstico médico, transacciones de inventarios, pronóstico de carga energéticas y más. Las empresas comerciales en internet lo

utilizan para obtener información sobre el comportamiento de compra de sus clientes y hacer una predicción de lo que posiblemente se desea comprar. Un algoritmo de Machine Learning debe ser entrenado con una cantidad de datos adecuada y luego el resultado del aprendizaje se evalúa posteriormente para ver la precisión del aprendizaje y si el algoritmo utilizado es el correcto, esto se realiza en otros datos del mismo tipo pero que no se usaron en el entrenamiento.

Machine Learning utiliza 2 tipos de técnicas: aprendizaje supervisado y no supervisado, ver **Figura 3**. El aprendizaje supervisado es aquel que se entrena a partir de datos de entrada y salida conocidos, de tal manera que se pueda predecir datos futuros desconocidos. El aprendizaje no supervisado, encuentra patrones escondidos o estructuras intrínsecas en los datos de entrada. En la **Figura 3** se muestra las 2 tipos de técnicas que usa Machine Learning, supervisada y no supervisada con algunos de los algoritmos más utilizados. Estos algoritmos como han empezado a tener relevancia y aplicación se han ido desarrollando varias librerías en los lenguajes de programación más relevantes como son C++, Phyton y Matlab entre otros.



**Figura 3:** Tipos de técnicas de machine learning.

### 3.3 APRENDIZAJE PROFUNDO (DEEP LEARNING)

El aprendizaje profundo es un subcampo de la IA que se enfoca en crear modelos de redes neuronales grandes que sean capaces de hacer decisiones basadas en datos. Deep Learning está adaptada para situaciones donde los datos son complejos y los conjuntos de datos disponibles suelen ser enormes. Actualmente el aprendizaje es muy utilizado por empresas importantes como Facebook, que lo hace para analizar texto de conversaciones, otras empresas como Google, Baidu y Microsoft para búsqueda de imágenes. Los teléfonos inteligentes utilizan deep learning para reconocimiento de voz, y reconocimiento facial en las cámaras digitales. En el sector salud se está utilizando en el procesamiento médico de imágenes y el diagnóstico de condición de salud. El Deep Learning se emplea en los coches autónomos cuando hacen localización y mapeo, planeación de movimiento, dirección y percepción medioambiental así seguimiento del estado del controlador (Keller, 2019)

La diferencia entre el deep learning y el machine learning es cómo aprende cada algoritmo. El deep learning automatiza gran parte de la fase de extracción de características del proceso, lo que elimina parte de la intervención humana manual y permite el uso de conjuntos de datos más grandes. El deep learning se podría considerar como “machine learning escalable”. El machine learning tradicional, o "non-deep", depende más de la intervención humana para aprender. Los expertos humanos determinan la jerarquía de características para comprender las diferencias entre las entradas de datos, lo que por lo general requiere más datos estructurados para aprender (IBM, 2023).

## 4. MODELADO CINEMÁTICO EMPLEANDO REDES NEURONALES

Las redes neuronales se han empleado en diversos problemas de cinemática cuya solución es irresoluble analíticamente. En algunos mecanismos la cinemática directa se puede obtener

analíticamente, sin embargo, esto no es posible para la cinemática inversa, en otros mecanismos ocurre lo contrario. En este caso la cinemática directa se emplea para entrenar la red, la cual servirá de modelo de la cinemática inversa. En la literatura se pueden encontrar diversos trabajos en los que redes neuronales modelan la cinemática directa o inversa. En (Fouz y col., 2013) se estudian diversas arquitecturas de redes neuronales para resolver la cinemática inversa de un robot industrial de 5 grados de libertad. En (Duka, 2014) se estudia la precisión de las redes neuronales para calcular las posiciones deseadas en un robot plano de tres grados de libertad. En (Zubizarreta y col., 2015) y (Zubizarreta y col., 2018) se analiza el cálculo de la cinemática directa de un robot paralelo de tres grados de libertad con diferentes estructuras de redes neuronales, haciendo hincapié en la reducción del costo computacional, comparado con los métodos tradicionales como el algoritmo Newton-Raphson, también se menciona que el cálculo es mucho más rápido utilizando redes neuronales, sin afectar el error máximo.

El procedimiento que se sigue para definir la arquitectura de la red neuronal es el siguiente, considerando que se desea tener un modelo para la cinemática inversa:

1. Se obtiene el modelo cinemático directo de manera analítica. Este modelo se empleará posteriormente para entrenar la red. En muchos mecanismos es posible obtener el modelo analítico directo, pero no el inverso, y viceversa. Si no es posible obtener ningún modelo analítico podrían emplearse otros métodos numéricos, como Newton-Raphson para obtener el modelo que se empleara para entrenar la red.
2. Se define el espacio de trabajo y su discretización para obtener de cada punto, los datos de entrada y salida de la cinemática directa, para posteriormente emplearlos para entrenar la red neuronal que se empleara como nuestro modelo de cinemática inversa.
3. Para definir la arquitectura de la red neuronal es necesario encontrar el número de capas y neuronas que satisfacen los requerimientos de desempeño esperados. Este es un proceso iterativo en el que se varia de manera sistemática el número de neuronas de las capas ocultas y el número de capas ocultas. El objetivo es encontrar la

arquitectura con menor coste computacional que satisfaga los requerimientos de precisión y exactitud establecidos de acuerdo con la tarea que va a desempeñar el robot.

Los criterios de desempeño típicamente empleados para evaluar una arquitectura de red neuronal son:

- MSE, Error cuadrático medio.
- SSE, Suma residual de cuadrados.
- MAE, Error absoluto medio.
- Máximo error absoluto de aproximación.
- Tiempo de cómputo.
- Tiempo de entrenamiento.

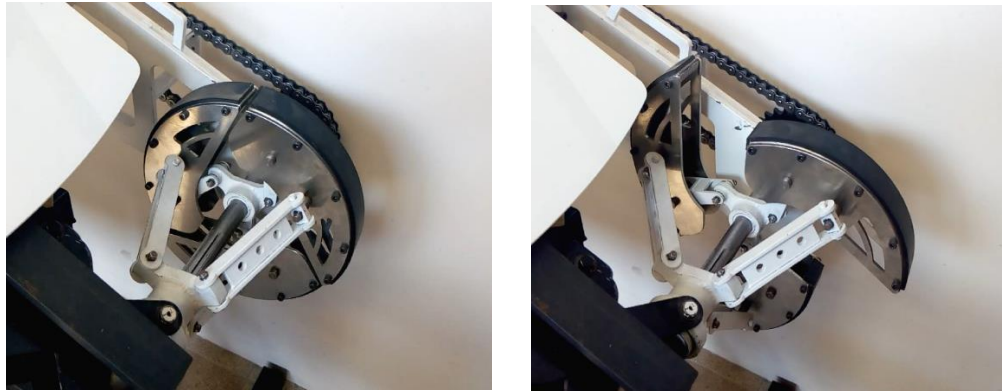
Las arquitecturas de redes más empleadas para el modelado cinemático de mecanismos son el Perceptrón Multi Capa y las Redes de Base Radial, siendo el Perceptrón Multi Capa el que menor coste computacional tiene y es más adecuado para aplicaciones en tiempo real (Zubizarreta y col., 2018).

A continuación, se presenta el procedimiento que se siguió para desarrollar el modelo cinemático inverso basado en redes neuronales para una rueda híbrida de geometría variable.

#### 4.1 MODELADO CINEMÁTICO DE UNA RUEDA TRANSFORMABLE

En la **Figura 4** se muestra una rueda HEISE 3RSRR, esta rueda es capaz de transformarse de una rueda circular convencional, a una rueda con extremidades, permitiendo tener las ventajas de cada modo de operación. El método de locomoción terrestre más eficiente son las ruedas circulares, mientras que las ruedas con extremidades se han empleado para aumentar la tracción de vehículos en terrenos complicados, además de que también tienen de

la capacidad de que tienen para subir escaleras. Los diseños de las ruedas HEISE fueron propuestos en (Moreno y col., 2020).



*Figura 4 Rueda HEISE 3RSRR*

#### 4.1.1 MODELADO CINEMATICO DIRECTO

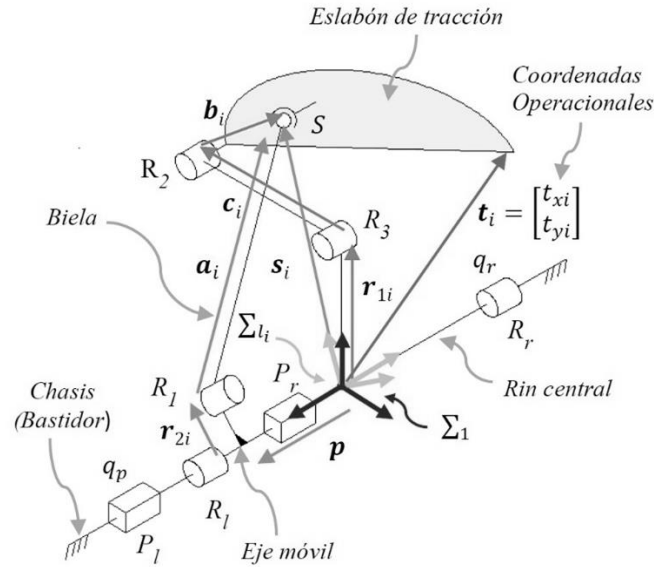
En la **Figura 5** se presenta el esquema cinemático de la rueda HEISE RSRR. El mecanismo consiste en una barra deslizante, un rin y una serie brazos extensibles, la cadena cinemática consiste en una secuencia de articulaciones como sigue: rotacional  $R_1$ , esférica  $S$ , rotacional  $R_2$  y rotacional  $R_3$ . Cuando se actúa la articulación  $R_r$  se puede hacer girar la rueda. Por otro lado, para extender/flexionar las piernas se actúa la articulación prismática  $P_l$ .

Con los vectores presentados en el esquema cinemático de la  $i$ -ésima pierna del mecanismo, se pueden escribir las ecuaciones en lazo cerrado:

$$\mathbf{a}_i + \mathbf{r}_{2i} + \mathbf{p} = \mathbf{s}_i$$

$$\mathbf{b}_i + \mathbf{c}_i + \mathbf{r}_{1i} = \mathbf{s}_i$$

A partir de estas ecuaciones se resuelve la cinemática directa, conocido el valor de las variables articulares  $q_p$  y  $q_r$  se determina primero la postura de todos los eslabones, es decir conocido  $\mathbf{p}$  y  $\mathbf{r}_{1i}$ , se determinan las orientaciones de los vectores  $\mathbf{a}_i$ ,  $\mathbf{b}_i$  y  $\mathbf{c}_i$ .



**Figura 5** Esquema cinemático para la *i*-ésima pierna de una rueda RSRR

Finalmente, la posición de la punta de la *i*-ésima pierna es se obtiene la siguiente ecuación:

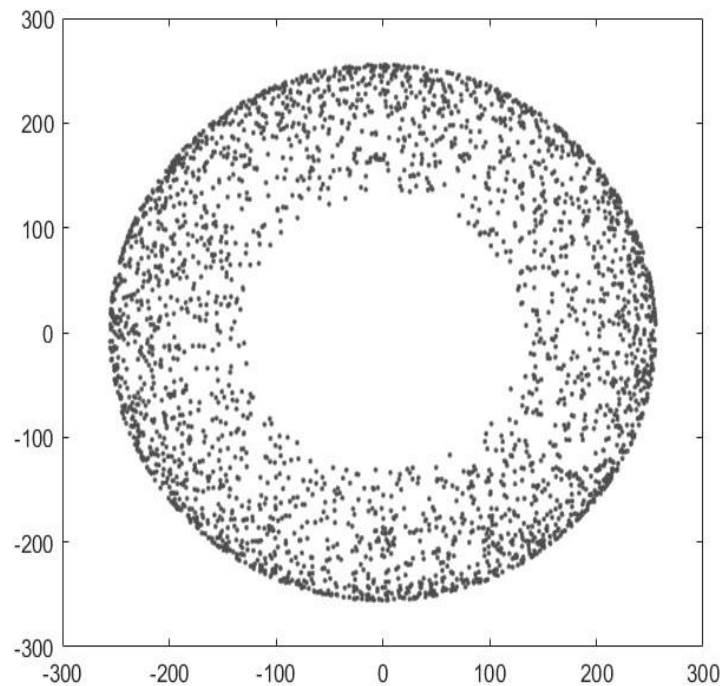
$$\mathbf{t}_i = [(l_T/L_2)\mathbf{R}_\vartheta + \mathbf{I}_2]^1 \mathbf{b}_i + {}^1\mathbf{c}_i + {}^1\mathbf{r}_{1i}$$

Donde  $l_T$  es la longitud del eje de tracción e  $\mathbf{I}_2$  es la matriz identidad.  $\mathbf{R}_\vartheta$  es la matriz de rotación alrededor del eje perpendicular al plano de movimiento del eje de tracción para un valor dado de  $\vartheta$ .

El problema cinemático directo aunque implica ecuaciones trascendentes es relativamente fácil de resolver, sin embargo la cinemática directa presenta dificultades para resolverse analíticamente, además de que se ha encontrado que para una postura hay al menos 6 soluciones posibles de la cinemática directa. Por lo tanto, este problema se resolvió mediante el empleo de redes neuronales (Flores y col., 2021).

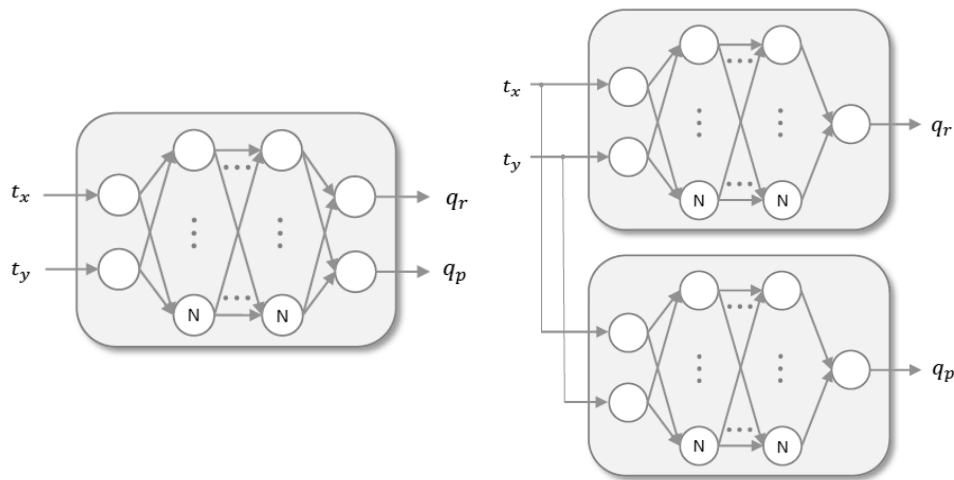
#### 4.1.2 ENTRENAMIENTO DE LA RED NEURONAL

Para realizar el entrenamiento de redes neuronales se utiliza la herramienta de Matlab para Machine Learning, donde solo es necesario introducir las características de la red neuronal a entrenar y con un conjunto de datos para entrenamiento, en la figura 6 se muestra el conjunto de datos utilizados para el entrenamiento, obtenidos de la cinemática directa.



**Figura 6** Datos de entrenamiento para las redes neuronales

El conjunto de datos que se utilizó fue creado utilizando la cinemática directa, obteniendo las coordenadas  $t_i$  para cada posición de los servomotores ( $q_p$  y  $q_r$ ), posteriormente se entrenaron diversas topologías de redes neuronales para hacer una comparación de rendimiento, el resumen de las topologías utilizadas se muestra en la tabla 1.



**Figura 7** Estructuras utilizadas en los dos grupos de redes neuronales

**Tabla 1** Lista de topologías utilizadas, se muestra el número de capas ocultas y las neuronas por capa

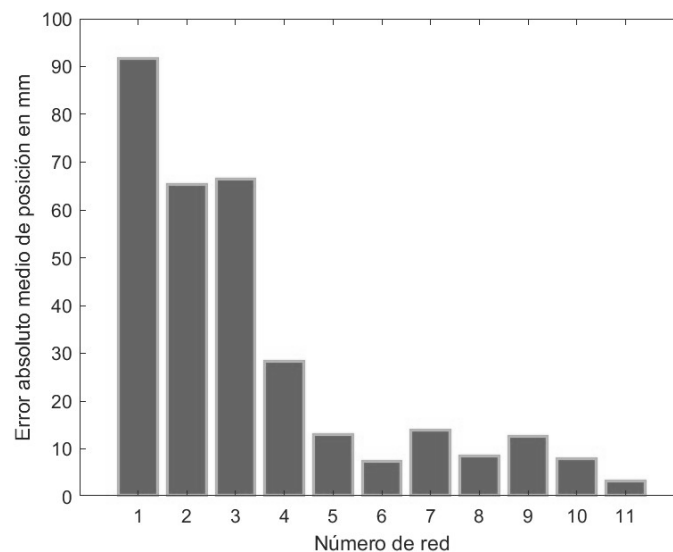
Número de red neuronal	Red 1	Red 2	Red 3	Red 4	Red 5	Red 6	Red 7	Red 8	Red 9	Red 10	Red 11
Única red	1*[10]	1*[15]	1*[20]	2*[10]	1*[10] 1*[20]	2*[15]	1*[20] 1*[10]	2*[20]	3*[10]	3*[20]	3*[30]
Red doble $Q_r$	2*[10]	2*[20]	2*[30]	3*[10]	3*[20]	3*[30]	-	-	-	-	-
Red doble $Q_p$	1*[10]	1*[20]	1*[30]	2*[10]	2*[20]	3*[30]	-	-	-	-	-

Se utilizaron dos grupos de redes neuronales, uno de ellos maneja los datos de entrada y de salida en una sola red (Red única), en el otro grupo se hizo que cada salida fuera manejada por una red diferente (Red doble), ver **Figura 7**. En ambos casos se empleó un Perceptrón Multicapa, las capas ocultas se empleó como función de activación la tangente sigmoide, y para la capa de salida una función lineal.

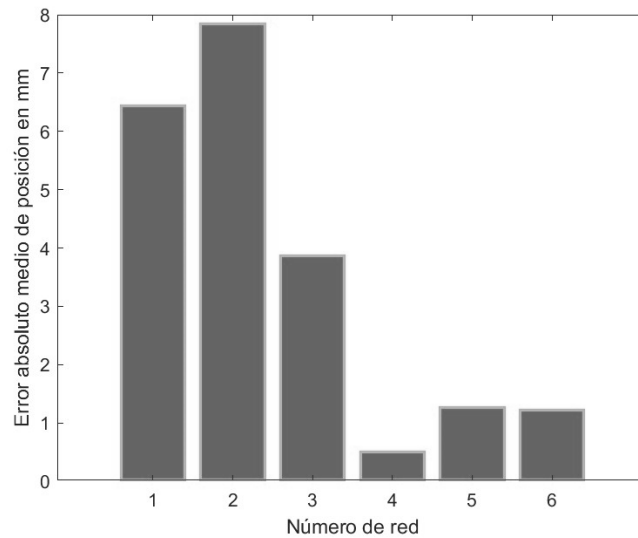
Para pruebas se creó un conjunto de datos con 10000 puntos que fueron introducidos en la red neuronal, para posteriormente obtener el rendimiento midiendo el error absoluto medio para cada red neuronal.

Los resultados obtenidos se muestran en las **Figuras 8 y 9**, como se puede observar las redes pertenecientes al grupo 2 tuvieron un mejor rendimiento que las redes del grupo 1, esto debido a la topología utilizada (Una red neuronal para cada salida).

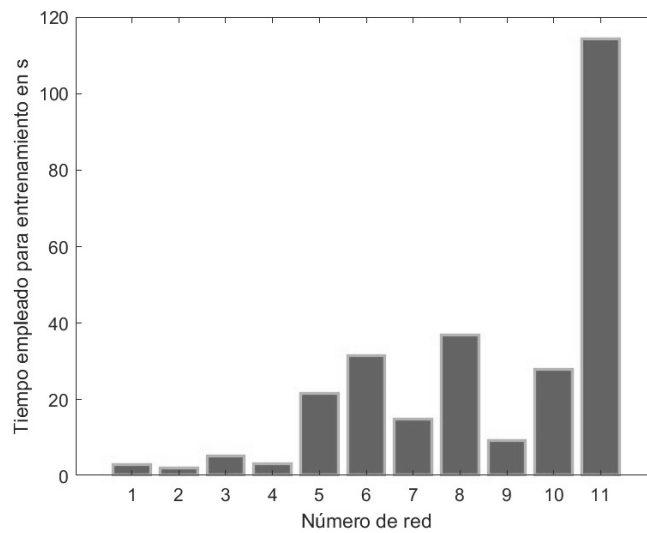
También se hizo una comparativa del tiempo empleado para entrenamiento, mostrado en la **Figuras 10 y 11**, se observa que en general, las redes pertenecientes al grupo 2 les tomo más tiempo de entrenamiento ya que se requiere entrenar 2 redes para cada caso.



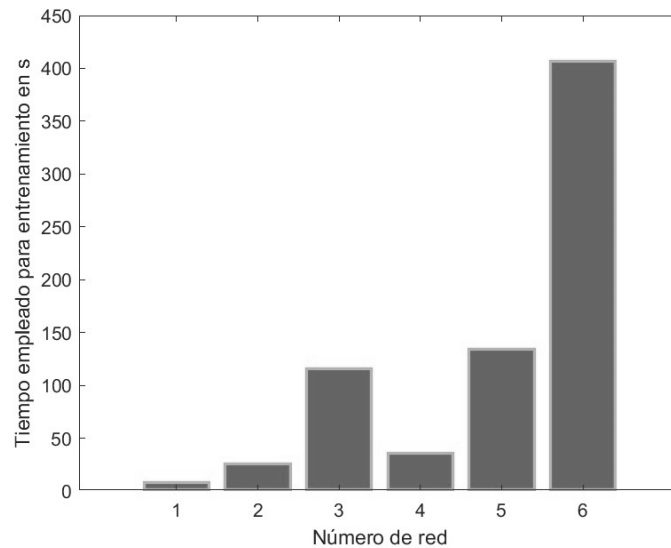
**Figura 8** Error absoluto medio de posición para el primer grupo de redes neuronales



*Figura 9 Error absoluto medio de posición para el segundo grupo de redes neuronales*

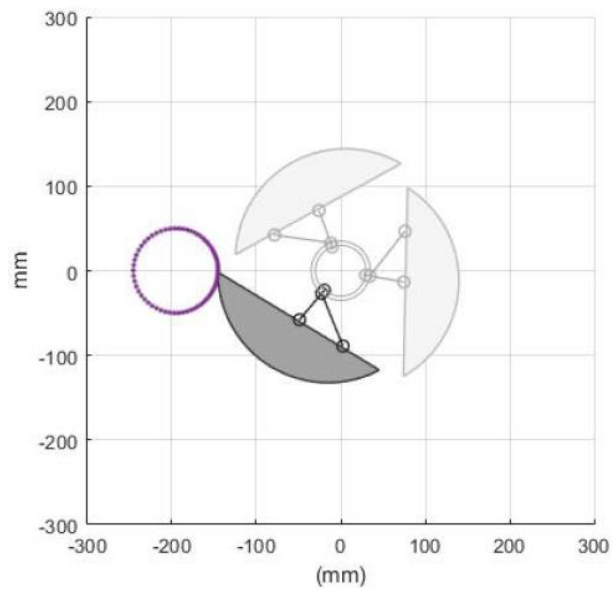


*Figura 10 Tiempo empleado en entrenamiento para el primer grupo de redes neuronales*



**Figura 11** Tiempo empleado en entrenamiento para el segundo grupo de redes neuronales

En la **Figura 12** se muestra una simulación en la que se emplea una red neuronal entrenada para resolver la cinemática inversa. En la simulación se realiza una trayectoria circular.



**Figura 12** Simulación de la cinemática directa

## 4.2 SOFTWARE PARA ENTRENAR REDES NEURONALES

El software Matlab ofrece varias librerías para diferentes aplicaciones, concretamente se utilizó la librería de machine learning, que permite crear y entrenar redes neuronales fácilmente a través de una interfaz gráfica, su desventaja es que algunos parámetros se manejan de manera predeterminada, sin embargo, a través de código es posible modificarlos, algunos de los parámetros que se pueden modificar son:

- Número de capas
- Número de neuronas por capa
- Algoritmo de entrenamiento
- Forma de cuantificación de error
- Medida del error objetivo
- Numero de iteraciones para el entrenamiento
- Pruebas de validación

Una vez que la red es creada y entrenada se dispone de algunas opciones para trabajar con ella. Una es la creación de una función para uso dentro del software Matlab, otra opción es exportar las matrices de la red neuronal para uso fuera del software con otras opciones de programación en diferentes lenguajes que puedan hacer operaciones con matrices. Para esto se guardan las matrices que pertenecen a la red neuronal en un archivo de datos (.mat), que luego se importan en otro lenguaje, por ejemplo, Python, dentro de este lenguaje de programación se pueden encontrar librerías para las operaciones con matrices, además de la librería para el manejo de archivos con extensión (.mat). Una vez que las matrices son importadas, será necesario hacer la codificación con las operaciones requeridas para hacer funcionar la red neuronal (implementar las funciones ReLU, tangente-sigmoide, etc.), una vez concluido esto la función de la red neuronal está lista puede emplearse, por ejemplo, en el algoritmo de control programado en la computadora un robot.

## 5. CONCLUSIONES.

La simulación, diseño, planificación de trayectorias y control de mecanismos robóticos requieren del modelado cinemático. A medida que han surgido nuevas arquitecturas de robots cuya cinemática no es resoluble analíticamente, se han propuesto modelos basados en métodos computacionales. Este artículo proporciona una explicación didáctica de los conceptos relacionados con el modelado cinemático de mecanismos robóticos utilizando redes neuronales. Primero, se presentó una introducción al modelado cinemático de robots, seguido de una revisión de las técnicas propuestas en la literatura científica. Luego, se ofrece una breve explicación de los términos relacionados con la inteligencia artificial, el machine learning y las redes neuronales. Después, se describieron algunos trabajos relevantes en el modelado cinemático mediante redes neuronales, incluyendo los procedimientos para el diseño de arquitecturas y los criterios de desempeño principales que deben considerarse. Finalmente, se presenta un ejemplo de aplicación de las redes neuronales en el modelado de una rueda híbrida de geometría variable, junto con una descripción del software utilizado para ello.

El modelo de cinemática inversa basado en redes neuronales, presentado en este trabajo, será útil para controlar una Rueda HEISE con una sola extremidad, la cual se podría transformar en una rueda o una pierna según los requerimientos de la tarea. Con el modelo cinemático inverso se podrán determinar los movimientos requeridos en los motores dado un patrón de marcha para el extremo del eslabón de tracción.

Encontrar la mejor arquitectura de red neuronal para el modelo cinemático, es un proceso iterativo, en el que se varía el número de capas y el número de neuronas para encontrar aquella red que satisfaga las necesidades en términos de error admisible y tiempo de cómputo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Baron, L. & Angeles, J. (2000). The direct kinematics of parallel manipulators under joint-sensor redundancy. *IEEE Trans Robot Autom* 16(1):12–19.

Duka, A. (2014). Neural Network based Inverse Kinematics Solution for Trajectory Tracking of a Robotic Arm, *Procedia Technology*, Volume 12, Pages 20-27, ISSN 2212-0173, <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2013.12.451>.

Flores J.F. , H. A. Moreno, I. G. Carrera, M. A. Garcia & R. G. Adan, (2021), Inverse Kinematics of a RSRR HeIse wheel using Neural Networks, 2021 XXIII Robotics Mexican Congress (ComRob), Tijuana, Mexico, 2021, pp. 19-24, doi: 10.1109/ComRob53312.2021.9628728.

Fouz, M., Bayoumy & A. Rezek, S. (2013). Neural network based inverse kinematics for a robotic manipulator. 5th International Conference on Aerospace Sciences & Aviation Technology, ASAT - 15 May, 2013, Cairo, Egypt.

IBM (2023). Inteligencia Artificial, url: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/artificial-intelligence>, acceso online: 6 de Mayo 2023.

Kelleher, J. (2019). *Deep Learning*, MIT Press 2019, ISBN: 026235490X, 9780262354905.

Moreno, H., Saltarén, R, Carrera, I., Puglisi, L. & Aracil, R. (2012) , Índices de Desempeño de Robots Manipuladores: una revisión del Estado del Arte, *Revista Iberoamericana de Automática e Informática industrial*, 9(2), pp. 111–122. doi: 10.1016/j.riai.2012.02.005.

Moreno, H., Carrera, I., Pámanes , J. A., & Baca, J. (2018). Ruedas HeIse: Familia de Mecanismos para Implementar Ruedas Híbridas de Geometría Variable. *Revista Iberoamericana De Automática E Informática Industrial*, 15(4), 427–438. <https://doi.org/10.4995/riai.2017.8798>

Puglisi, L., Saltaren, R., García, C., Cárdenas, P. & Moreno, H. (2017). Implementation of a generic constraint function to solve the direct kinematics of parallel manipulators using Newton-Raphson approach. *Control Engineering and Applied Informatics*. 19: 71-79.

Sadjadian, H. & Taghirad, H.. (2005). Comparison of Different Methods for Computing the Forward Kinematics of a Redundant Parallel Manipulator. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. 44: 225-246. 10.1007/s10846-005-9006-4.

Zubizarreta, A., Larrea, M., Irigoyen, E., Cabanes, I. & Portillo, E. (2018), Real time direct kinematic problem computation of the 3PRS robot using neural networks, *Neurocomputing*, Volume 271, Pages 104-114, ISSN 0925-2312, <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.02.098>.

Zubizarreta, A., Larrea, M., Irigoyen, E. & Cabanes, I. (2015). Real Time Parallel Robot Direct Kinematic Problem Computation Using Neural Networks. 10.1007/978-3-319-19719-7\_25.

## **Factores ambientales, homeostáticos y emocionales asociados a la obesidad**

### **Environmental, homeostatic and emotional factors associated with obesity**

Luis Ervey Chacón Garza<sup>\*1</sup>, Lizette Anabel Aguilar Zapata<sup>1</sup>, Ana Sofía Torralba Hernández<sup>1</sup>, Arturo Rodríguez Vidal<sup>2</sup>, Lidia Guadalupe Trujano Ortiz<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Escuela de Ciencias de la Salud Unidad Norte UAdeC

Calle de la Salud # 714, Col. Villa de Fuente, Piedras Negras, Coahuila. C.P. 26090

<sup>2</sup>Facultad de Ciencias Químicas UAdeC

Blvd. V. Carranza s/n, Col. República Oriente, Saltillo, Coahuila. C.P. 25280.

<sup>3</sup>Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería, Campus Tlaxcala, IPN  
Guillermo Valle #11, Col. Centro, Tlaxcala de Xicohténcatl, Tlaxcala. C.P. 90000

**\*Autor de correspondencia:** Dr. Luis Ervey Chacón Garza

Escuela de Ciencias de la Salud Unidad Norte UAdeC. Calle de la Salud # 714,  
Col. Villa de Fuente, Piedras Negras, Coahuila. C.P. 26090. Tel: 8787861540

Correo electrónico: luis.chacon@uadec.edu.mx ORCID: 0000-0001-7954-3478

## RESUMEN

La obesidad es una enfermedad crónica no transmisible que perjudica a la salud de las personas, actualmente su prevalencia ha incrementado, considerándose como una pandemia desde la primera década del siglo XXI. Para poder comprenderla se requiere tener en cuenta una serie de factores relacionados como son estilo de vida, factores genéticos, mecanismos homeostáticos del organismo, factores ambientales, sociales, emocionales, económicos, cognitivos, culturales e incluso religiosos. Uno de los esfuerzos para combatir la obesidad se centra en controlar los mecanismos de hambre y saciedad, sin embargo, se ha descubierto que las emociones ejercen un efecto intenso sobre la ingesta alimenticia, especialmente en las personas diagnosticadas con obesidad siendo en este punto donde entra el sistema hedónico o de recompensa, el cual es el encargado de establecer prioridades relacionadas con el placer en el acto de comer. El presente artículo se enfoca en describir cómo el sistema hedónico impacta en el desarrollo de la obesidad y cómo las propiedades organolépticas de los alimentos pueden modificar y regular la ingesta alimentaria.

**Palabras clave:** obesidad, hambre, saciedad, homeostasis, sistema hedónico

## ABSTRACT

Obesity is a non-communicable chronic disease that affects the health of people, currently its prevalence has increased and in the first decade of the 21st century it began to be considered a pandemic. To understand the problem, is necessary to take into account a series of related factors such as lifestyle, genetic factors, homeostatic mechanisms of the organism, environmental, social, emotional, economic, cognitive, cultural and even religious factors. One of the efforts to combat obesity focuses on controlling the mechanisms of hunger and satiety, however it has been discovered that emotions have an intense effect on food intake, especially in

people diagnosed with obesity, and at this point where the hedonic or reward system start, which is responsible for establishing priorities related to pleasure in the act of eating. This article focuses on describing how the hedonic system impacts the development of obesity and how the organoleptic properties of food can modify and regulate food intake.

**Keywords:** obesity, hunger, satiety, homeostasis, hedonic system

## **Factores ambientales, homeostáticos y emocionales asociados a la obesidad**

### **Obesidad la otra pandemia del siglo XXI**

La obesidad es una enfermedad crónica no transmisible de origen multifactorial caracterizada por una cantidad excesiva de tejido adiposo que perjudica a la salud (OMS, 2021; Kaufer-Horwitz y Pérez, 2020; Ciangura y col., 2017; Hernández y col., 2017; Rodrigo-Cano y col., 2017, Izaola y col., 2015, Gordillo y col., 2011). Ocurre cuando la ingesta calórica es superior al gasto energético, por lo que tiene lugar un desequilibrio que se refleja en un exceso de peso corporal que tiene consecuencias negativas en la salud física, mental y en la vida social de las personas (Congdon y Dickson 2022; Rodrigo-Cano y col., 2017)

La prevalencia de la obesidad es tal que a principios de la primera década del siglo XXI se comenzó a considerar como una verdadera pandemia, acuñándose el término “globesidad” en el año 2010 (Méndez y col., 2023; Suárez-Carmona y col., 2017; Costa-Font y Mas, 2016). Hace cuatro décadas, la población con peso bajo predominaba a nivel mundial, sin embargo, la población con obesidad prevalece actualmente sobre todo en países como Tonga, Samoa y Kiribati y es evidente en países como Estados Unidos, Reino Unido, Brasil, China, Egipto, Sudáfrica, India, Indonesia, México, Pakistán y Rusia, (Méndez y col., 2023, Congdon y Dickson 2022). De seguir con esta tendencia, se cree que para el año 2030 más de cuarenta

por ciento de la población mundial, presentará problemas de sobrepeso y más de la quinta parte lucirá con algún grado de obesidad (Jackson y col., 2020; Malo-Serrano y col., 2017). Actualmente hay más de 2000 millones de personas afectadas con esta enfermedad (Figura 1).

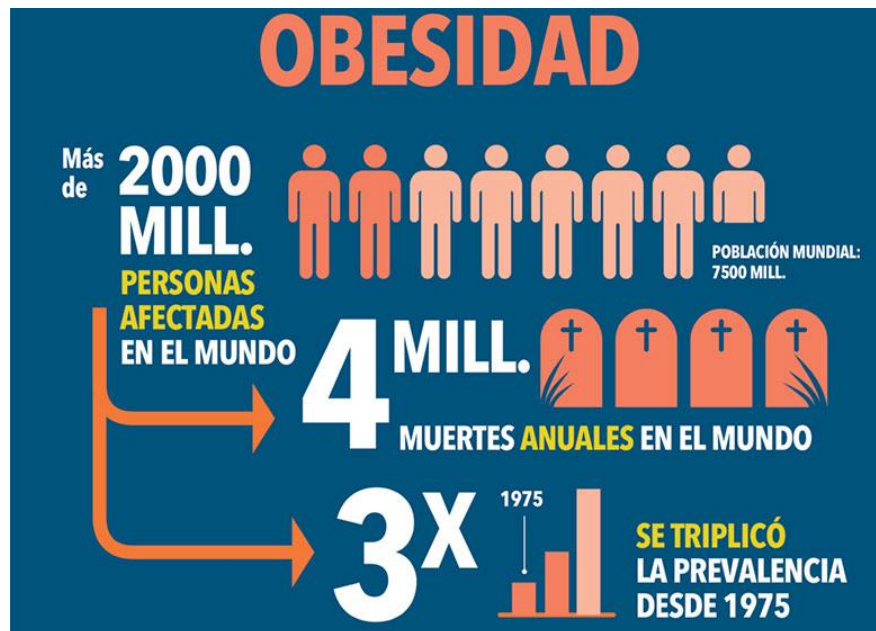


Figura 1. Incremento de la obesidad en los últimos años

Fuente: <https://www.bancomundial.org/es/news/infographic/2020/01/29/the-crippling-costs-of-obesity>

La obesidad ha sido considerada como un factor primordial para el desarrollo de enfermedades no transmisibles las cuales han incrementado los porcentajes de morbimortalidad en el mundo (OMS, 2021; Malo-Serrano y col., 2017). Un índice de masa corporal (IMC) elevado, de más 30 kg/m<sup>2</sup>, se relaciona con problemas metabólicos, como resistencia a la insulina, aumento de colesterol, triglicéridos, problemas cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 e inclusive desarrollo de cánceres y patologías osteoarticulares (Temple, 2022; OMS, 2021; Kaufer-Horwitz

y Pérez, 2020; Jackson y col., 2020; Malo-Serrano y col., 2017; Ciangura y col., 2017).

Por lo anterior, es imperativo implementar estrategias para prevenir y tratar la obesidad, las cuales vayan dirigidas a la población general con especial atención a los grupos de mayor riesgo como niños y adultos mayores, encaminadas a conseguir una pérdida de peso efectiva con su posterior mantenimiento (Hernández y col, 2017). Por lo que muchas de las investigaciones elaboradas se han enfocado en instaurar y desarrollar diferentes programas, métodos y tratamientos en torno a la mejora de hábitos saludables, realizando cambios en la alimentación y practicando actividad física (Hernández-Rodríguez, 2023; Gordillo y col, 2011).

Por otra parte, algunos países han intentado implementar políticas públicas orientadas a disminuir la obesidad, destacando la aplicación de impuestos sobre las bebidas azucaradas, los productos de alto contenido calórico y bajo contenido nutricional, así como la reglamentación de la publicidad y el etiquetado de los alimentos (Ríos-Reyna y col., 2022)

En México el Instituto Nacional de Salud Pública ha participado en el desarrollo de políticas públicas basadas en evidencia para afrontar este problema de salud, tal es el caso del impuesto a las bebidas azucaradas, que ha promovido el aumento en el consumo de bebidas saludables como el agua, así como la aprobación de la modificación en el etiquetado de alimentos y bebidas industrializadas (Ríos-Reyna y col., 2022; INSP, 2021). También los diferentes estados de la federación pueden crear programas propios enfocados mejorar los hábitos alimenticios de las personas, promover la actividad física y en algunos casos apoyar en intervenciones médicas siendo este el caso de Coahuila dónde existe el programa Cambiando Vidas en el cual además de promover mejoras en el estilo de vida de las personas

se apoya con cirugías bariátricas a pacientes con obesidad mórbida (Gobierno del Estado de Coahuila, 2021)

### **Factores ambientales relacionados con el desarrollo de la obesidad**

Cada vez se va tomando más consciencia de que este problema de salud requiere tener en cuenta otro tipo de factores además de los relacionados con los de estilo de vida, factores genéticos y mecanismos homeostáticos del organismo (Hernández y col, 2017). Actualmente se toma en cuenta también a los factores ambientales dentro de los que podemos englobar los factores sociales, familiares, emocionales, laborales, económicos, cognitivos, culturales e incluso religiosos entre otros (Figura 2) (Hernández-Corona y col 2021; Hernández y col, 2017; Rodrigo-Cano y col., 2017; Suarez-Carmona y col., 2017) ya que se ha demostrado que dichos factores ejercen un efecto activo sobre la salud de la persona a lo largo de su vida, incluyendo la etapa prenatal (Nicolaidis, 2019).

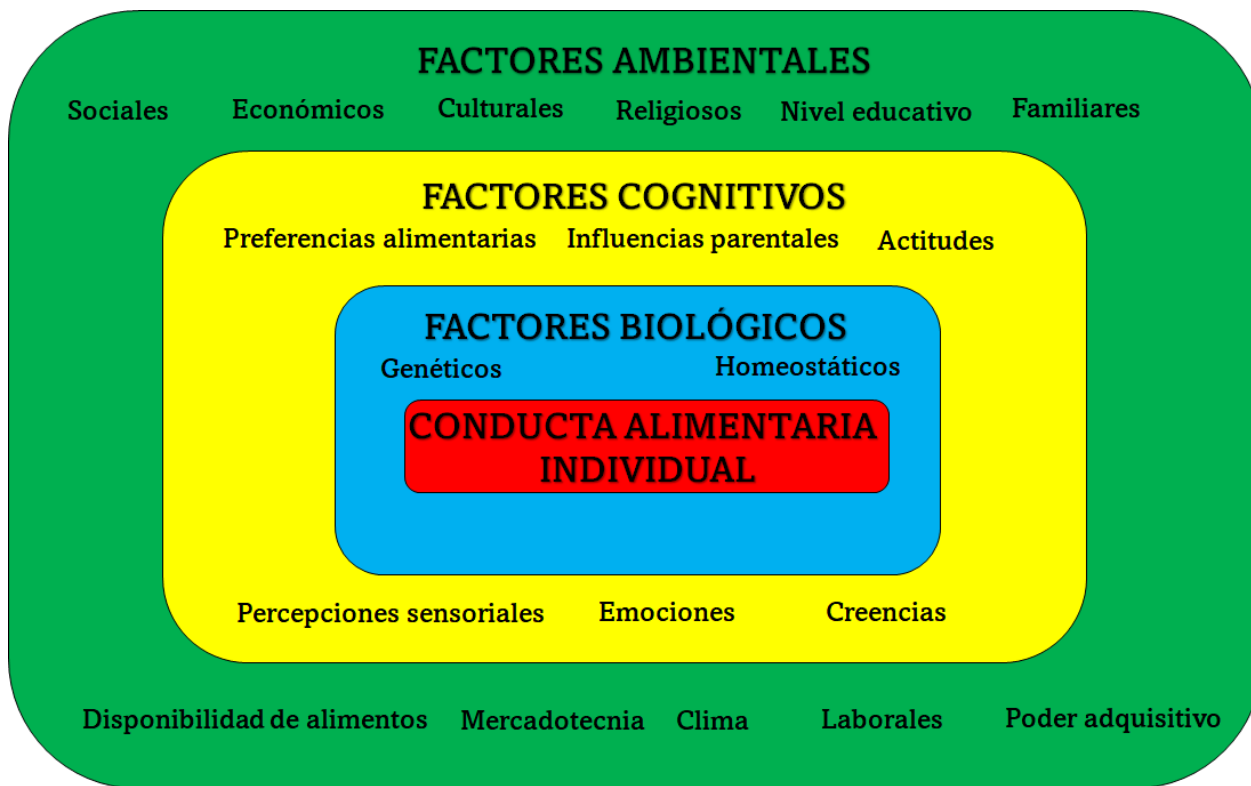


Figura 2. Factores que inciden en la conducta alimentaria de las personas

Fuente: Elaboración propia

En el aspecto económico el sobrepeso y la obesidad eran considerados un problema propio de los países de ingresos altos, sin embargo, actualmente ambos trastornos aumentan en los países de ingresos bajos y medianos, en particular en los entornos urbanos (Gómez, 2020). Un punto importante para considerar es que destaca una mayor prevalencia de la obesidad entre las clases sociales más bajas de los países desarrollados en contraposición de las clases sociales más altas de los países en vías de desarrollo (Ortega, 2021; Rodrigo-Cano y col. 2017).

De esta situación hay que agregar que las personas pobres compran y consumen alimentos baratos, regularmente grasas, azúcares y harinas, además de que adoptan patrones de consumo de alimentos y bebidas industrializadas. Por ejemplo,

México encabeza la lista mundial de consumidores de refrescos con un promedio de 163 litros por persona al año (Gómez, 2020).

Es importante destacar el ambiente obesogénico que puede favorecerse en el hogar, donde los padres pueden reforzar hábitos incorrectos como la sobrealimentación y el sedentarismo ya que los miembros de la familia tienden a tener hábitos similares y si uno o los dos padres son obesos, el riesgo de ser obeso es más grande (Rodrigo-Cano y col. 2017; García y Creus, 2016).

Ciertas condiciones sociales pueden ligarse con la obesidad, por ejemplo, el no tener acceso a áreas seguras para hacer ejercicio (Rodrigo-Cano y col. 2017), otros factores que inciden pueden ser estar viudo o la maternidad en edades tempranas en cuyo caso es difícil preparar alimentos saludables o porque se desconoce cómo o no se tiene el tiempo para ello (García y Creus, 2016), así como el abuso del televisor, videojuegos o más recientemente de dispositivos inteligentes como los celulares (Nicolaidis, 2019)

Además, se ha demostrado estos mismos factores ambientales pueden inducir cambios obesogénicos que son transferibles de una generación a la siguiente como se puede ejemplificar con el caso clásico de las familias en la Holanda ocupada por los alemanes durante la segunda guerra mundial, ya que después de la hambruna holandesa de 1944, hubo repercusiones en el peso corporal durante dos generaciones que afectaron a los nietos de las víctimas (Nicolaidis, 2019).

Por lo que se ha ido tomando conciencia de la necesidad de intervenciones profesionales interdisciplinarias cada vez más específicas e individuales, realizadas por médicos, nutriólogos, psicólogos e incluso psiquiatras debido a que la obesidad ha demostrado ser una compleja problemática con elevados costos, tanto a nivel individual como social (Gordillo y col., 2011).

### **Factores homeostáticos que regulan la ingesta de alimentos**

En este contexto uno de los primeros esfuerzos para combatir la obesidad se centró en controlar los mecanismos de hambre y la saciedad, los cuales se encuentran regulados por un sistema neuroendocrino integrado a nivel del hipotálamo (Forero-Bogotá y Gómez, 2021). Este sistema, basado en un entramado de circuitos neuro-hormonales complejos, incluye también señales moleculares de origen periférico y central y en conjunto es conocido como sistema homeostático (Berthoud y col, 2020; Hernández y col, 2017), el cual funciona en respuesta a las señales periféricas que reflejan la situación de la absorción de nutrientes y la reserva energética (Palma e Iriarte, 2012). Por lo tanto, el sistema neuroendocrino puede responder a las modificaciones en las cantidades de alimentos que se han ingerido, a la termogénesis, así como el tamaño de los depósitos grasos en el organismo para tratar de conservar la concentración normal de la glucosa sanguínea, el tamaño de los depósitos hepáticos de glucógeno o el peso conforme a la talla del sujeto (Ochoa y Muñoz, 2014).

Visto de esta manera el hipotálamo es la zona más importante del sistema nervioso central (SNC) que acoge la señalización neuro-hormonal involucrada en la regulación de las percepciones del apetito, hambre y saciedad, de igual manera sistematiza las interacciones de las diversas regiones del cerebro implicadas en la conducta alimentaria (Berthoud, 2020; Ochoa y Muñoz, 2014). Esto se comprobó hace algunos años atrás, cuando se observó que lesiones bilaterales presentes en el hipotálamo ventromedial producían obesidad e hiperfagia, en tanto que las lesiones laterales se traducen en afagia y pérdida de peso, estableciéndose la existencia de un “centro de la saciedad” en el núcleo ventromedial y un “centro del apetito” en el hipotálamo lateral (Ochoa y Muñoz, 2014; Palma e Iriarte, 2012).

Los núcleos paraventriculares, dorsomediales y arqueados del hipotálamo también contribuyen a la regulación de la ingesta de alimentos e influyen en la producción de hormonas tiroideas, suprarrenales, insulina y glucagón, como también grelina y leptina. De esta manera, tiene lugar la regulación de la ingesta y el balance energético a corto, mediano y largo plazo (Forero-Bogotá y Gómez, 2021)

Para resumir este complejo sistema de regulación hay que decir que existen dos sistemas interconectados uno anabólico (oxigénico) el cual es el responsable de regular el mantenimiento o el aumento del peso corporal a través de la estimulación de la ingesta alimentaria, de los mecanismos inductores del hambre y del apetito y de la activación de los mecanismos que inhiben el gasto energético. El otro es el sistema catabólico (anorexígeno) el cual regula el mantenimiento o la disminución del peso corporal, estimulando mecanismos que aumentan el gasto energético y disminuyendo la ingesta (Forero-Bogotá y Gómez, 2021, Hernández y col, 2017).

Sin embargo desde el momento en que el alimento es percibido conscientemente por el individuo, hasta que se produce la ingestión de este, intervienen una serie de estímulos sensoriales provenientes del mismo como el olor, el sabor, la textura, la temperatura e incluso la apariencia y la presentación, además de factores emociones, factores relacionados con el sexo y la edad de la persona, inclusive horas de sueño que pueden al empujar al individuo hacia la aceptación o rechazo de un alimento en cuestión y es solo después de ingerida una cantidad crítica de alimentos que el sujeto alcanza la saciedad, y rechaza la ingestión de cantidades adicionales (Forero-Bogotá y Gómez, 2021, Hernández y col., 2017; Ochoa y Muñoz, 2014).

Es justamente aquí donde se observa que, si la conducta alimentaria estuviera únicamente regulada por los mecanismos homeostáticos, la mayoría de las personas se encontraría en su peso ideal y comer se consideraría una actividad

similar a respirar o defecar, una función necesaria pero simple y monótona (Hernández y col., 2017; Palma e Iriarte, 2012). Sin embargo, el proceso de regulación del apetito en los seres humanos es mucho más complejo que lo anterior, ya que cualquier individuo siente un placer subjetivo cuando ingiere un alimento, por ejemplo hay ocasiones en que podemos llegar a pagar grandes sumas de dinero por una excelente comida, lo que indica que esta nos genera una satisfacción por sí misma, y podemos llegar a comer mucho más de lo que nuestro cuerpo necesita si se nos presentan alimentos apetecibles (Hernández y col., 2017; Palma e Iriarte, 2012; Magni y col., 2009; Valasi y col., 2008).

### **Factores Emocionales que afectan la conducta alimentaria**

Las emociones ejercen un efecto intenso sobre la ingesta alimenticia, especialmente en las personas diagnosticadas con obesidad. Diversas investigaciones han arrojado como resultado que los individuos con sobrepeso consumen una mayor cantidad de alimentos en comparación con las personas con un peso ponderal o normal, cuando atraviesan por emociones negativas (Katz, 2021; Anger y Katz, 2015; Peña y Reidl, 2015). Y es en este punto donde entra el sistema hedónico o de recompensa, el cual es el encargado de establecer prioridades relacionadas con el placer en este caso de comer o beber (Katz, 2021).

El sistema hedónico propone que el desequilibrio alimentario en las personas puede ser impulsado por el hedonismo el cual promete recompensas psicológicas gratificantes (Woodward et al, 2022) como en el caso de los jugadores adictos o personas con problemas de drogadicción que no pueden abandonar esta actividad, por el “placer” que ello les proporciona. Solo que en este caso los individuos experimentan pensamientos, sentimientos o impulsos sobre el deseo de comer aun cuando existe ausencia de cualquier déficit energético (Figura 3) (Lowe y Butryn 2007).



Figura 3. Mecanismo de recompensa del sistema hedónico

Fuente: Elaboración propia

Para comprender mejor lo anterior es necesario entender cuatro conceptos fundamentales, hambre, apetito, saciación y saciedad. El hambre se define como la sensación fisiológica que nace en respuesta a una necesidad biológica de nutrientes energéticos (carbohidratos, proteínas y lípidos sin dejar de lado vitaminas y minerales). Las sensaciones que se presentan pueden ser vacío en el estómago, acidez dolor de cabeza e incluso náuseas, lo que las hace incómodas e incluso dolorosas. Cuando comienza la sensación de hambre surge la necesidad de comer y esta desaparece a medida que se van ingiriendo alimentos (FAO, 2021; Hernández y col., 2017; Núñez-Hernández y col., 2014).

El apetito puede definirse como el antojo de comer un determinado alimento, o en general, las ganas de comer, hecho que puede condicionar la ingesta de forma

notable en la medida que se elijan unos u otros alimentos. En otras palabras es la intelectualización del instinto del hambre, que está influenciado por el medio social en el que influyen además los hábitos, las modas, las vivencias, los prejuicios, el pensamiento y por supuesto los factores hedonistas (Núñez-Hernández y col., 2014; Kohen, 2011). Esto lo podemos comprender mejor al analizar la figura 4 donde se observa la diferencia entre comer por necesidad (hambre fisiológica) y comer por antojo o apetito (hambre emocional).

<b>Hambre Fisiológica</b>	<b>Hambre Emocional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es progresiva, aparece poco a poco</li> <li>➤ Puede posponerse</li>   <li>➤ Se satisface con cualquier alimento</li> <li>➤ Es regulada por hormonas como la ghrelina y leptina</li> <li>➤ El individuo se siente bien al terminar de comer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Es repentina</li>   <li>➤ Es urgente, necesita satisfacerse de inmediato</li> <li>➤ Se presenta un antojo específico</li> <li>➤ Es regulada por las emociones o estados de ánimo</li> <li>➤ Al finalizar surgen sentimientos de culpa</li> </ul>

Figura 4. Hambre fisiológica vs hambre emocional

Fuente: Elaboración propia

La saciación también conocida como plenitud es el conjunto de procesos generados durante la ingesta que conduce a la finalización de esta, dicho de otra manera es el control del tamaño o cantidad de cada comida, conduciendo a la finalización de la

ingesta del alimento (Katz, 2021; Hernández y col., 2017; Núñez-Hernández y col., 2014; Kohen, 2011).

La saciedad es el estado final de saciación alimentaria, es la inhibición del hambre que ocurre después de la ingesta y que determina el tiempo entre las comidas y a medida que se va desarrollando, el hambre va disminuyendo (Katz, 2021; Hernández y col., 2017; Núñez-Hernández y col., 2014; Kohen, 2011). La eficacia saciadora, es la capacidad que tiene un alimento para brindar saciedad, intensamente influenciada por la energía calórica total, así como la composición específica de los alimentos consumidos, (Katz, 2021; Hernández y col., 2017; Kohen, 2011) por ejemplo un alimento rico en proteínas saciará durante más tiempo que uno con un contenido elevado de carbohidratos. Además actualmente se habla de que existen diferentes tipos de saciedades o mecanismos de saciedad, teniendo entonces saciedad neuroquímica, saciedad cognitiva, saciedad mecánica, saciedad sensorial y saciedad hedónica (Katz, 2021), aunque los mecanismos hedónicos y sensoriales van de la mano, pues muchas sensaciones de placer dependen de las características organolépticas del alimento, es decir, de su sabor, olor, color o textura, y pueden condicionar de manera relevante la elección de los mismos (Hernández y col., 2017).

Una vez comprendido lo anterior podemos decir que la ingesta hedónica comienza con características sensoriales como la mera visualización de los alimentos: si su vista es agradable al consumidor despertará el apetito. Por el contrario, si no es atractivo a la vista no se generará el deseo de comerlos. (Núñez-Hernández y col., 2014). Esto se debe a que parte de nuestra percepción está dominada por la visión, el color y la presentación del alimento nos generan expectativas sobre experiencia gastronómica que vamos a tener, se ha sugerido que el emplatado puede hacer que pensemos que un platillo 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

puede ser percibido en una manera distinta, por ejemplo se piensa que los colores rojos en los alimentos incrementan la percepción del dulzor de estos (Durà-Castany, 2017). Esto se ve soportado por algunos estudios que evidencian, que a medida que se produce un aumento de la palatabilidad, el apetito aumenta y, por tanto, la ingesta alimentaria también (Hernández y col., 2017), ya que se ha demostrado que la exposición a la comida apetitosa va asociada a la liberación de dopamina en el cuerpo estriado, lo que puede inducir, al igual que ocurre en las adicciones, comportamientos automáticos, no controlados, de ingestión excesiva (Martínez y Sánchez, 2021).

Se sabe que el ser humano tiende a preferir alimentos dulces y salados, y a rechazar los de sabor más amargo o ácido por una cuestión evolutiva de supervivencia, ya que los sabores dulces y salados se asocian a alimentos de alta densidad energética mientras que el sabor amargo puede asociarse con alcaloides tóxicos (Palomino, 2020) y el sabor ácido puede indicar deterioro o inmadurez, de tal manera que el ser humano de forma innata tienda a preferir unos sobre otros (Hernández y col., 2017).

El gusto por el sabor dulce es consistente en niños de todas partes del mundo (Mazariegos, 2020), diversos estudios han documentado la preferencia del infante en el consumo de bebidas azucaradas sobre el consumo de agua natural desde los primeros meses de vida (Rohlf, 2019; Ariza y col., 2018, Araneda y col., 2017), e incluso se ha observado que el sabor dulce les ayuda a disminuir el llanto y la sensación de dolor cuando estos están pasando por situaciones incómodas como la aplicación de inyecciones (Mazariegos, 2020). El problema se agrava porque el gusto innato por los sabores dulce y salado puede ser magnificado durante los primeros años de vida, sobre todo si existe una exposición temprana y repetida, lo que aumenta la respuesta hedónica a lo largo de la vida del individuo (Figura 5) (Mazariegos, 2020; Rohlf, 2019; Ventura y Menella, 2011).

Diferentes autores han mencionado que uno de los generadores de la obesidad es el exceso de azúcar agregada a los alimentos procesados (Reddy y col, 2021; Arriaga-Ramírez y Cruz-Morales, 2019), se ha sugerido dichas exposiciones tempranas a nutrimentos como azúcares, sodio y grasas pueden aumentar el riesgo de obesidad (Mazariegos, 2020; Rohlf, 2019).

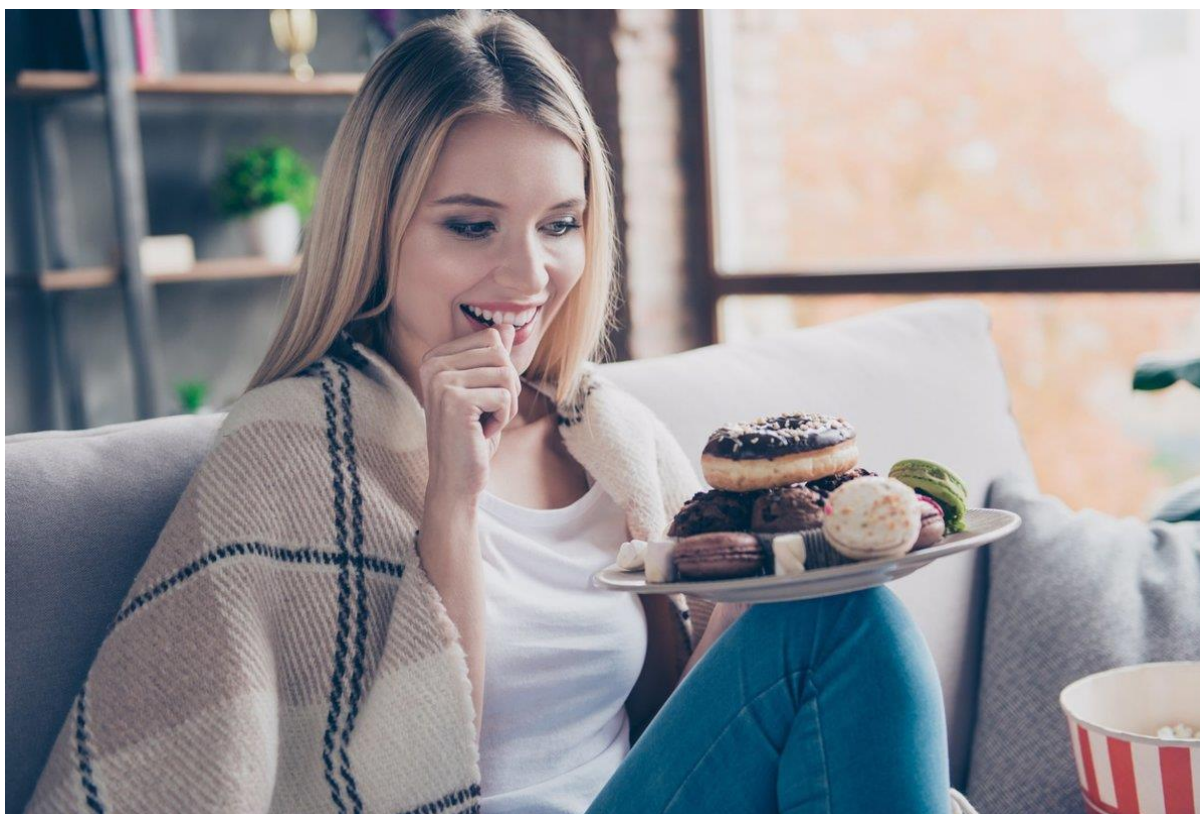


Figura 5. El ser humano tiende a preferir alimentos dulces

Fuente: [Ansiedad por comer dulce - La Mente es Maravillosa](#)

También la textura y el olor de la comida pueden alterar profundamente nuestra actitud (Palma e Iriarte, 2012; Kohen, 2011). Esto se ve reforzado porque ante la sensación de hambre, la sola ingesta de una comida puede alterar el humor y las emociones reduciendo la irritabilidad, al tiempo que acrecienta el afecto positivo, así

como la serenidad. No obstante, para que lo anterior ejerza efecto, la composición, así como la cantidad de los alimentos deben asemejarse a los hábitos personales. Así, se ha visto que una comida excesivamente copiosa o poco saludable puede provocar sentimientos negativos en la persona (Alarcón-Riveros y col, 2019; Kohen, 2011). De este modo, podemos decir que la alimentación puede regular las emociones de una persona al mismo tiempo que las emociones pueden regular la alimentación de esta.

Desgraciadamente las emociones tienen también un aspecto negativo, pues tienen un poderoso efecto sobre la ingesta, sobre todo en las personas con obesidad. Los resultados de diferentes investigaciones demuestran que las personas con sobrepeso consumen más alimentos que las personas de peso bajo o normal cuando experimentan emociones negativas (Martínez y Sánchez, 2021; Ramírez y Col., 2021; Anger y Katz, 2015). El enfrentamiento de las emociones negativas, a través de la comida, se realizaría con alimentos que, se ha evidenciado, actúan sobre el sistema de recompensa neurobiológico provocando placer frente a la emoción negativa y que afectan la síntesis de neurotransmisores, entre los que se destaca la serotonina. Aquellos alimentos que provocan placer y satisfacción son aquellos altos en grasas, altos en azúcares y altos en calorías; por tanto, se dice que el comedor emocional consume alimentos del tipo reconfortante o “food comfort” para el manejo de sus emociones negativas (Sabella y col., 2022; Martínez y Sánchez 2021; Palomino, 2020).

Diversos estudios han identificado que los comedores emocionales incrementan el consumo de los alimentos como respuesta a emociones no gratas (Sabella y col., 2022; Martínez y Sánchez 2021; Ramírez y Col., 2021) como: apatía, frustración, estrés, miedo, pena, ansiedad, inquietud (Palomino, 2020); a diferencia de los comedores no emocionales, los cuales no cambian sus patrones de consumo o incluso los limitan (Peña y Reidl, 2015). Sin embargo, a pesar del énfasis que se

ha hecho en sobre la influencia de las emociones desagradables en los comedores emocionales, estudios recientes han generado controversia debido a que se ha reconocido que, durante las emociones agradables, los comedores emocionales aumentan su ingesta alimentaria (Ramírez y Col., 2021; Palomino 2020; Peña y Reidl, 2015; Bongers y col., 2013).

A pesar de todo esto, aun no se sabe a ciencia cierta el proceso exacto por el cual las emociones alteran la ingesta, se ha propuesto que la emoción propia causa hiperfagia (incremento desmedido en la ingesta alimentaria) debido a que se convierte en un estilo de resistencia para el individuo (Anger y Katz, 2015; Sánchez y Pontes 2012). También se ha sugerido que la emoción en sí misma no es la responsable de la ingesta excesiva sino más bien, la verdadera causante del sobrepeso es la forma en que la emoción es afrontada por la persona (Ramírez y col., 2021; Sánchez y Pontes 2012). En cualquier caso, utilizar alimentos para afrontar emociones puede convertirse en un hábito poco saludable y llevar en última instancia a un incremento de peso corporal (Anger y Katz, 2015).

Asimismo, se han observado diferencias de género con relación a la ingesta y las emociones positivas y negativas. Encontrándose que las mujeres tienden a comer más a causa de emociones negativas (Sabella y col., 2022; Martínez y Sánchez 2021; Palomino, 2020, Anger y Katz, 2015).), mientras que los hombres lo hacen para mantener o mejorar sus estados emocionales positivos o alegres (Anger y Katz, 2015). Respecto de las preferencias alimentarias, ante las emociones negativas se estas ingieren predominantemente alimentos de sabor dulce mientras que ante emociones positivas predomina la ingesta de alimentos salados (Sabella y col., 2022; Martínez y Sánchez 2021; Palomino 2020; Anger y Katz, 2015).

Otro ejemplo de consumo hedónico es el que se da en mujeres fumadoras quienes suelen tener peores hábitos de alimentación que las mujeres no fumadoras y

consumen una mayor cantidad de alimentos grasosos y por ende tienden a desarrollar más fácilmente sobrepeso y obesidad. Esta correlación entre tabaquismo y obesidad se asocia a una menor percepción y evaluación de mezclas que contienen azúcar y grasas (Ascencio, 2019).

Finalmente, aunque estamos lejos de comprender la conducta alimentaria en su totalidad, muchos de sus mecanismos están cada vez mejor entendidos y actualmente podemos decir que las propiedades organolépticas de los alimentos, así como las emociones pueden modificar y regular la ingesta alimentaria, a través de su influencia en el apetito y la saciedad, y desempeñan un papel importante en la conducta alimentaria llegando a influir en patologías como la obesidad y las consecuencias de esta.

## Referencias

- Alarcón-Riveros, M., Troncoso-Pantoja, C., Amaya-Placencia, A., Sotomayor-Castro, M. & Amaya-Placencia, J. P. (2019). Alimentación saludable en estudiantes de educación superior en el sur de Chile. *Perspectivas en Nutrición Humana*. 21(1):41-52.
- Ascencio, C. (2019). PERCEPCIÓN DEL GUSTO Y LOS SABORES EN PACIENTES CON OBESIDAD. *Revista digital RED CieN*. 1(6):27-33.
- 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.
- Araneda, J., Lobos, L., Olivares, Patricio, Oliva P., Quezada, G. & Sandoval, P. (2017). Bebidas azucaradas: Representaciones de escolares con sobrepeso y obesidad. *Rev Chil Nutr*. 44(3):276-282.
- Ariza, A. C., Sánchez-Pimienta, T. G. & Rivera, J. A. (2018). Percepción del gusto como factor de riesgo para obesidad infantil. *salud pública de México*. 60(4):472-478.

Arriaga-Ramírez J. C. P. & Cruz-Morales, S. E. (2019). LA OBESIDAD DESDE LA PERSPECTIVA DE LA SELECCIÓN DE ALIMENTOS. *Revista de Salud Pública y Nutrición*. 18(1):25-32.

Berthoud, H. R., Morrison, C. D. & Münzberg, H. (2020). The obesity epidemic in the face of homeostatic body weight regulation: What went wrong and how can it be fixed? *Physiology & Behavior*. 222:1-10.

Bongers, P., Jansen, A., Havermans, R., Roefs, A. & Nederkoorn, C. (2013). Happy eating I. The underestimated role of overeating in a positive mood. *Appetite*. 67, 74-80.

Ciangura, C., Carette, C., Faucher, P., Czernichow, S., & Oppert, J. M. (2017). Obesidad del adulto. *EMC-Tratado de Medicina*, 21(2):1-10.

Congdon, P. & Dickson, A. (2022). Editorial: The obesity epidemic: Causes, context, prevention. *Frontiers in Public Health*. 10:1-4.

Costa-Font, J. & Mas, N. (2016). "Globesity"? The effects of globalization on obesity and caloric intake. *Food Policy*. 64:121-132.

Durà-Castany, Mireia. (2017) Neurogastronomía: la influencia del oído y la vista en el sabor. UNIR. Tesis de Maestría.

FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (2021). Hambre y seguridad Alimentaria [En línea] Disponible en: <http://www.fao.org/hunger/es/> Fecha de consulta: 01 de octubre de 2021.

Forero-Bogotá, M. A & Gómez, M. (2021). Determinantes fisiológicos y ambientales de la regulación del control de la ingesta de alimentos. *Revista de Nutrición Clínica y Metabolismo*. 4(1):85-93.

García, A. J. & Creus, E. D. (2016). La obesidad como factor de riesgo, sus determinantes y tratamiento. *Revista Cubana de Medicina General Integral*. 32(3):1-13

Gobierno del estado de Coahuila. (2021) "Cambiando vidas" en Coahuila [En línea] Disponible en: [www.coahuila.gob.mx/](http://www.coahuila.gob.mx/) Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021.

Gómez, J. T. (2020). Causas y consecuencias sistémicas de la obesidad y el sobrepeso. *REH- REVISTA EDUCAÇÃO E HUMANIDADES*. 1(2):157-178.

Gordillo, F., Mestas, L., Arana, J., Salvador, J., Gordillo, A. & Tinao, J. F. (2011). ¿Son relevantes los procesos volitivos y de autorreflexión en los programas de reducción de peso? *Rev Mex Transtornos Aliment.* 2:94-103.

Hernández, M., Martínez, B., Almirón-Roig, E., Pérez-Diez, S., Blanco, R., Navas-Carretero, S. & Martínez, J. A. (2017). Influencia multisensorial sobre la conducta alimentaria: ingesta hedónica. *Endocrinol Diabetes Nutr.* <https://doi.org/10.1016/j.endinu.2017.09.008>

Hernández-Corona, D. M., Ángel-González, M., Vázquez-Colunga, J. C., Lima-Colunga, A. B., Vázquez-Juárez, C. L. & Colunga-Rodríguez, C. (2021). HÁBITOS DE ALIMENTACIÓN ASOCIADOS A SOBREPESO Y OBESIDAD EN ADULTOS MEXICANOS: UNA REVISIÓN INTEGRATIVA. *Ciencia y enfermería.* 27(7):1-13.

Hernández-Rodríguez, J. (2023). Generalidades sobre el papel de la actividad física como tratamiento del adulto obeso. *Rev Ciencias Médicas.* 27:1-16.

Instituto Nacional de Salud Pública (2021). México y las políticas públicas ante la obesidad. Disponible en: [www.insp.mx/](http://www.insp.mx/) Fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021.

Izaola, O., de Luis, D., Sajoux, I., Domingo, J. C. & Vidal, M. (2015). Inflamación y obesidad (lipoinflamación). *Nutr Hosp.* 31(6):2352-2358.

Jackson, S. E., Llewellyn, C. H., & Smith, L. (2020). The obesity epidemic – Nature via nurture: A narrative review of high-income countries. *SAGE Open Medicine.* 8:1-11.

Katz, M. (2021). La ciencia detrás de las saciedades. *Journal of Behavior and Feeding.* 1(1):17-25.

Kaufer-Horwitz, M. & Pérez, J. F. (2020). La obesidad: aspectos fisiopatológicos y clínicos. *Inter disciplina* 10(26):147-175.

Kohen, L. (2011). Una visión global de los factores que condicionan la ingesta. Instrumentos de medida. *Nutr Hosp. Supl.* 4 (2):14-24.

Lowe, M. R. & Butryn, M. L. (2007). Hedonic hunger: A new dimension of appetite? *Physiology & Behavior.* 91:432-439.

Magni, P., Dozio, E., Ruscica, M., Celotti, F., Masini, M. A., Prato, P., Broccoli, M., Mambro, A., More, M. D. & Strollo, F. (2009). Feeding Behavior in Mammals Including Humans. *Acad. Sci.* 1163:221-232.

Malo-Serrano, M., Castillo N. & Pajita, D. (2017). La obesidad en el mundo. *An Fac med.* 78(2):173-178.

Martínez, J. M. & Sánchez, J. P. (2021). Regulación emocional y obesidad: Un enfoque psicobiológico. *Journal of Behavior and Feeding.* 1(1):26-38.

Mazariegos, M. (2020). Desarrollo de preferencias alimentarias saludables en etapas tempranas de la Vida. *ARCHIVOS LATINOAMERICANOS DE NUTRICIÓN.* 70(4):282-289.

Méndez, A. V., Cuevas, J. L., & Martínez, F. (2023). Globesity: a space-time analysis, 1980-2015. *Econ. soc. territ.* 23(72):661-689.

Nicolaidis, S. (2019). Environment and obesity. *Metabolism.* 100:1-21.

Núñez-Hernández, M. N., Vargas-Cerero, E. A., Sánchez-Madrugal, J., Jaramillo, E., Martínez-Navarro, J., & Nava, A. (2014). Nociones sobre fisiología del apetito. Apetito y hambre. *El Residente.* 9(1):15-19.

Ochoa, C. & Muñoz, G. (2014). Hambre, apetito y saciedad. *Rev Cubana Aliment Nutr.* 24(2):268-279.

OMS. Organización Mundial de la Salud (2021). Obesidad y Sobrepeso. [En línea] Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>. Fecha de consulta: 27 de septiembre de 2021

Ortega, M. A. (2021). Características biológicas y tratamiento multidisciplinario de la obesidad. *Psic Obesidad.* 11(41):28-38

Palma, J. A & Iriarte, J. (2012). Regulación del apetito: bases neuroendocrinas e implicaciones clínicas. *Med Clin (Barc).* 139(2):70–75.

Palomino, A. M. (2020). Rol de la emoción en la conducta alimentaria. *Rev Chil Nutr.* 47(2):286-291.

Peña E. & Reidl, L. M. (2015). Las Emociones y la Conducta Alimentaria. *ACTA DE INVESTIGACIÓN PSICOLÓGICA.* 5(3):2182-2193.

Ramírez, A. T., García, J. M., García-Méndez, M. & Álvarez, E. (2021). Alimentación emocional y su relación con la familia. En Rodríguez, J., Rodríguez, J. C., Martínez de San Vicente, N., Rodríguez, J. A., Burgos, C. G. y C. Bojórquez. *Psicología siglo XXI: una mirada amplia e integradora*. 1 Ed. Vol. 1. 215-231 Dykinson S. L.

Reddy, P., Dukhi, N., Sewpaul, R. Ellahebokus, M. A. A., Kambaran, S. N. & Jobe, W. (2021). Mobile Health Interventions Addressing Childhood and Adolescent Obesity in Sub-Saharan Africa and Europe: Current Landscape and Potential for Future Research. *Frontiers in Public Health*. 9:9-17.

Ríos-Reyna, C., Díaz-Ramírez, G., Castillo-Ruíz, O., Pardo-Buitimea, N. Y. & Alemán-Castillo, S. E. (2022). Políticas y estrategias para combatir la obesidad en Latinoamérica. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc*. 60(6):666-74.

Rodrigo-Cano, S., Soriano del Castillo, J. M., & Merino-Torres, J. F. (2017). Causas y tratamiento de la obesidad. *Nutr. clín. diet. hosp*. 37(4):87-92.

Rohlf, P. (2019). La exposición temprana al sabor como mecanismo fundacional de los hábitos alimentarios y de la cultura culinaria. Implicaciones para la futura investigación del consumo de verduras en la población infantil vasca. Zainak. *Cuadernos de Antropología-Etnografía*. 37:75-94.

Sabella, A., Mangia, G. I., Fernández, P. & Petean, M. E. (2022). Influencia de las emociones en la conducta alimentaria en trabajadores de la Universidad Nacional de Entre Ríos, Argentina. *Actualización en Nutrición*. 23(4):103-110.

Sánchez, J. L. & Pontes, Y. (2012). Influencia de las emociones en la ingesta y control de peso. *Nutr Hosp*. 27(6):2148-2150.

Suárez-Carmona, W., Sánchez-Oliver, A. J. & González-Jurado, J. A. (2017). Fisiopatología de la obesidad: Perspectiva actual. *Rev Chil Nutr*. 44(3):226-233.

Temple, N. J. (2022). The Origins of the Obesity Epidemic in the USA—Lessons for Today. *Nutrients*. 14(20):1-8.

Valassi, E., Scacchi, M. & Cavagnini, F. (2008). Neuroendocrine control of food intake. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 18:158-68.

Ventura A. K & Mennella, J. A. (2011). Innate and learned preferences for sweet taste during childhood. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. 14:379-384.

**Una metodología híbrida para la evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano docente basada en las habilidades y competencias profesionales, el potencial del personal y su desempeño en una universidad privada con campus en Monclova y Piedras Negras, Coahuila**

**A hybrid methodology for the strategic evaluation of the availability of teaching human capital based on professional skills and competencies, staff potential and performance in a private university with campuses in Monclova and Piedras Negras, Coahuila**

**José Luis Silva Cruz <sup>1</sup>, Yesica Yazmín Fuentes Ramírez <sup>1</sup>, Anabell Martínez Arzola <sup>2</sup>**

Instituciones de adscripción:

<sup>1</sup> **Universidad Autónoma del Noreste.** Dirección: Miguel Blanco Núm. 140, Colonia Zona Centro, Monclova, Coahuila, C.P. 25700. [200457@uane.mx](mailto:200457@uane.mx)

<sup>2</sup> **Instituto Interamericano del Lenguaje Positivo.** Dirección: Cerrada Amarilla 108 Col. Fovissste C.P. 26085 Piedras Negras, Coahuila. [interamericanolenguajepositivo@gmail.com](mailto:interamericanolenguajepositivo@gmail.com)

**Autores para correspondencia:**

**José Luis Silva Cruz.** e-mail: [200457@uane.mx](mailto:200457@uane.mx) <https://orcid.org/0000-0003-2974-1788> tel.866-1303418

**Yesica Yazmín Fuentes Ramírez.** e-mail: [jy\\_fuentes19@hotmail.com](mailto:jy_fuentes19@hotmail.com) tel. 866-124-0793

**Anabell Martínez Arzola.** e-mail: [anabellemx@outlook.com](mailto:anabellemx@outlook.com) tel. 878-1225811

## Resumen

Las entidades educativas del nivel superior tienen entre sus retos el desarrollo de las habilidades y competencias profesionales de sus docentes y la evaluación de su desempeño observando una nueva variable que no siempre es contemplada: la evaluación del potencial. En esta investigación se reúnen estas variables para proponer una metodología de evaluación híbrida en donde se integran el punto de vista de los docentes y de los directivos de mando medio y superior de dos entidades de la Universidad Autónoma de Noreste en el estado de Coahuila. La metodología incluye una revisión de la literatura con un enfoque cuantitativo con alcance correlacional y de corte transversal mediante la aplicación de instrumentos analizados con apoyo del sistema estadístico SPSS. El resultado relevante fue identificar las brechas de conocimiento faltante en las habilidades y competencias profesionales y la evaluación del desempeño y potencial que, en conjunto, arrojan un indicador del 90% como disponibilidad promedio del capital humano. Las conclusiones confirman la necesidad de contar con un método de evaluación estratégica que permita identificar con mayor oportunidad las necesidades de desarrollo del capital humano para alcanzar resultados de mejora a mediano plazo mediante una capacitación específica y en una cultura de seguimiento de una metodología híbrida de evaluación estratégica.

**Palabras clave:** Habilidades, capital humano, docentes, evaluación, potencial, disponibilidad.

## Abstract

Higher education institutions have among their challenges the development of the professional skills and competencies of their teachers and the evaluation of their performance by observing a new variable that is not always contemplated: the evaluation of potential. In this research, these variables are gathered to propose a hybrid evaluation methodology where the point of view of teachers and middle and senior managers of two entities of the Autonomous University of the Northeast in the

state of Coahuila are integrated. The methodology includes an review of the literature with a quantitative approach with correlational and cross-sectional scope through the application of instruments analyzed with the support of the SPSS statistical system. The relevant result was to identify the gaps of missing knowledge in professional skills and competencies and the evaluation of performance and potential that, together, yield an indicator of 90% as average availability of human capital. The conclusions confirm the need for a strategic evaluation method that allows identifying with greater opportunity the needs of human capital development to achieve medium-term improvement results through specific training and in a culture of monitoring a hybrid methodology of strategic evaluation.

**Key words:** Skills, human capital, teachers, evaluation, potential, availability.

## Introducción

Observando las investigaciones revisadas hasta el momento, podemos inferir que las entidades de educación superior en el mediano plazo tendrán como reto el contar una metodología que fomente y promueva con mayor eficiencia el talento existente en el capital humano de su personal docente. La clave está en diseñar un método que permita buscar los objetivos de crecimiento basado en la identificación del desempeño y la correcta gestión del potencial que las personas aportan; motivadas, desde luego, a través de incentivos y fortalecida con capacitaciones específicas plenamente identificadas como las áreas de oportunidad que garantizan un desarrollo integral a nivel personal y profesional.

Además, sabemos que no siempre se contempla el papel del personal ejecutivo de mandos medios y superiores como parte esencial para el desarrollo estratégico del personal docente. Por lo que pensamos que en esta investigación se obtiene nueva información con un enfoque de análisis dentro del sector de dos entidades privadas de educación superior.

Por lo anterior y observando la metodología propuesta por Publishing (2013). para el diseño de un Programa de desarrollo integral y de reconocimiento del desempeño

y potencial en la formación de empleados, se toma como aportación valiosa esta metodología para que con el enriquecimiento de los test de habilidades gerenciales aportados por (One-solution, 2017) podamos integrar un método híbrido compuesto por métodos aprobados en la práctica para la evaluación del personal docente en dos de las entidades de educación superior como entidades objeto de estudio en esta investigación.

Los autores Kaplan y Norton (2004) con su estudio de los mapas estratégicos brindan una herramienta que le permite a las entidades, en especial para nuestro caso, a las educativas, una mejor identificación de los requisitos necesarios y estratégicos del personal docente. Para casos prácticos se aporta en el método propuesto de este trabajo una identificación de la brecha faltante y trabajar así con un nuevo indicador.

Como indica Bernal González (2021) en su trabajo en donde refiere las cualidades intangibles del capital humano y sus competencias entre otras variables, coincidimos con esta autora en la observación de los intangibles para la mejora de la comunidad escolar que, con el tiempo, estos intangibles de mejora deberán hacerse notar al interior y exterior de las entidades si estas consiguen resultados y metas de crecimiento dentro del mediano y/o largo plazo.

Los autores González Cisneros y col. (2021) en su trabajo de investigación hacen notar que hoy se vuelve necesario considerar que existan estudios relacionados con la gestión de activos relacionados con otras habilidades además de las propias que se inculcan para la formación de enseñanza docente. Con este autor convenimos que se requiere para un mejor desarrollo profesional el incluir otras habilidades o competencias como las gerenciales y, es aquí donde se enlaza nuestra investigación con este estudio y toma vital importancia como parte del seguimiento propuesto en su trabajo de investigación. Por lo anterior, inferimos la necesidad de diseñar y proponer un procedimiento basado en un enfoque de método híbrido, es decir, una metodología que podemos describir de la siguiente forma: La integración y combinación de dos o más métodos cuantitativos en donde se analizan diferentes

variables relacionadas con la evaluación al docente para obtener resultados de información desde diferentes puntos de vista de los personajes involucrados, en este caso, la autoevaluación de las habilidades y competencias profesionales por parte del docente y la evaluación directa del desempeño y potencial por parte de los mandos medios y superiores de las entidades educativas; con la finalidad de integrar un promedio general de evaluación con los métodos que se combinan en esta propuesta de metodología híbrida.

Los autores Aravena-Gaete y Garín Saillán (2021) hacen referencia en su artículo acerca de la necesidad específica de una evaluación docente como se busca en este trabajo que propone un modelo de evaluación docente y viene a motivar el alcanzar el objetivo general en esta investigación.

Por lo anterior, se identifica como problema de forma puntual que en las instituciones objeto de estudio de este trabajo no se cuenta con una evaluación integral de las habilidades y competencias, del desempeño y del potencial que permita identificar con mayor oportunidad la disponibilidad del capital humano del personal docente en las instituciones de educación superior y, como guía de esta investigación planteamos la siguiente pregunta: ¿Cuál es el impacto en el desarrollo profesional del personal docente con la implementación de un método híbrido de evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano y su capacitación estratégica en las habilidades y competencias y las variables del desempeño y potencial en los Campus de la UANE de Monclova y Piedras Negras, Coahuila?

Algunas de las hipótesis que surgen ante esta pregunta son: Las entidades que cuentan con un método de evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano de su personal docente generan un mayor crecimiento profesional y académico y, los ejecutivos de mando medio y superior influyen en el desarrollo estratégico del Capital Humano de su personal docente.

En busca de información que apoye estas hipótesis se diseña como objetivo general el proponer una metodología híbrida de evaluación estratégica de la disponibilidad del capital humano en el personal docente basada en el conocimiento de sus

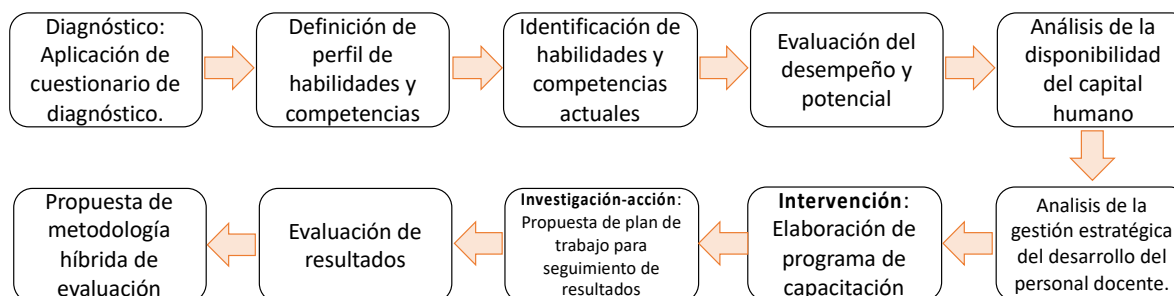
habilidades y competencias y en las variables de potencial y desempeño para fomentar su desarrollo profesional en la UANE campus Monclova y Piedras Negras, Coahuila y para dar el soporte necesario para alcanzar el objetivo general se diseñan los siguientes objetivos específicos: 1. Definir el perfil de habilidades y competencias del personal docente, 2. Identificar las habilidades y competencias del personal docente para calcular las brechas de conocimiento con oportunidad de desarrollo, 3. Analizar las variables del desempeño y potencial del personal docente para clasificar en categorías su aportación como colaborador, 4. Calcular la disponibilidad del capital humano mediante una metodología híbrida que integre las habilidades y competencias, desempeño y potencial del personal docente, 5. Analizar la gestión estratégica del personal directivo de mando medio y superior en el desarrollo del personal docente y finalmente 6. Elaborar un plan de capacitación y trabajo para dar seguimiento al desarrollo de las habilidades y competencias, desempeño y potencial del personal docente.

### **Materiales y método**

La naturaleza y propósito de esta investigación corresponde a una investigación con un enfoque cuantitativo, de alcance correlacional y de corte transversal durante el periodo de estudio de junio a octubre del 2022.

El principal aporte de esta investigación en el plano teórico y metodológico es la integración de una metodología híbrida de evaluación estratégica de las habilidades y competencias, desempeño y potencial de la disponibilidad del capital humano en el personal docente a fin de ser valorada mediante un estudio de investigación-acción en las instituciones educativas de educación superior. El proceso del método de trabajo para esta investigación lo podemos apreciar a continuación (Figura 1):

### PROCESO DE INVESTIGACIÓN.



**Figura 1.** Proceso de investigación. Fuente: Elaboración propia

Los instrumentos aplicados para el autodiagnóstico de las habilidades y competencias del docente (Tabla 1) y los instrumentos de diagnóstico para evaluar la gestión del personal docente de los mandos medio y superior (ver tabla 2) se muestran a continuación:

**Tabla 1.** Instrumentos de autodiagnóstico docente para la recolección de datos.

Fuente del instrumento	Cantidad	Escala	Número de reactivos
One-Solution (2017): Test de habilidades gerenciales.	8	Numérica	10
Publishing (2013): lista de verificación de competencias.	1	Dicotómica	15
Muñoz-Repiso y col. (2019): prueba de competencias.	1	Likert	12
<b>Total de instrumentos</b>	<b>10</b>		

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.** Instrumentos de diagnóstico aplicado por los mandos medios o superiores

Fuente del instrumento	Cantidad	Escala	Número de reactivos
Hoja de trabajo para evaluar el desempeño	1	Dicotómica	6
Hoja de trabajo para evaluar el potencial	1	Dicotómica	10
Lista de verificación del desarrollo del personal docente	1	Dicotómica	10
Cuestionario de diagnóstico	1	Dicotómica y Likert	10
<b>Total de instrumentos</b>	<b>4</b>		

Fuente: Elaboración propia. Hoja de trabajo y lista de verificación de Publishing (2013)

### **Ruta del procedimiento de operacionalización para evaluar el cumplimiento de los objetivos.**

1. Para conseguir definir el perfil de habilidades y competencias del personal docente se aplica un cuestionario de diagnóstico a los directores de cada entidad para contar con un listado de habilidades y competencias aplicable al personal docente (Tabla 2).
2. En la identificación de las habilidades y competencias del personal docente y cálculo de las brechas de conocimiento se aplican test de habilidades gerenciales, una prueba y una lista de verificación de competencias profesionales para detectar las oportunidades de desarrollo (Tabla 1).
3. Para el análisis de las variables del desempeño y potencial del personal docente se utilizan las hojas de trabajo aplicadas a los directivos de mando medio y superior para

conseguir la información de como clasificar al personal en las categorías de: alto desempeño, colaborador sólido y bajo rendimiento ( Tablas 2 y 3 y Figura 2).

4. Para conocer el indicador de la disponibilidad del capital humano se utilizan los resultados promedio de cada una de las variables analizadas: las habilidades y competencias, desempeño y potencial del personal docente. Se realiza mediante la propuesta y aplicación de una metodología híbrida mediante la combinación de dos métodos cuantitativos que integran los resultados obtenidos en la recopilación de datos en cada uno con los instrumentos utilizados (Tabla 1 y 2). La finalidad es obtener como resultado un promedio específico de cada variable analizada y con estos resultados integrar un promedio general que representa el indicador de la disponibilidad del capital humano.
5. En el objetivo del análisis de la gestión estratégica del personal directivo de mando medio y superior orientado al desarrollo del personal docente se aplica al personal directivo una lista de verificación para identificar el rango o medida en la que se ubica esta gestión (Tabla 2) y finalmente,
6. Se elabora un plan de capacitación como parte de un plan de trabajo que integra la aplicación de una propuesta de metodología híbrida. Se realizan los acuerdos con el personal directivo en una reunión con las entidades educativas a fin de dar seguimiento al desarrollo de las habilidades y competencias, desempeño y potencial del personal docente.

### **Población de estudio para el análisis cuantitativo.**

La población que se considera para el estudio cuantitativo es el personal docente activo frente a grupo con contrato actual durante los meses de aplicación de esta investigación y se integra con los docentes de los niveles académicos superior y media superior: Postgrado, licenciatura y bachillerato. El total de la población del personal docente activo es de 201 identificada como población finita durante el desarrollo de esta investigación con contrato actual durante el periodo de mayo – julio del 2022 en los dos planteles educativos considerados para este estudio. En observación a un nivel de confianza del 95% y con un 5% de margen de error aplicado en esta población activa, nos arroja un resultado de contar al menos con

132 docentes como población de estudio. En esta investigación se extrae para su estudio una muestra real de 147 (valor “n”) docentes por lo que se cubre el valor requerido en este cálculo de acuerdo con la ecuación:

$$n = (N \times Z^2 \times p \times q) / (e^2 (N-1) + Z^2 \times p \times q)$$

En donde para las variables que se representan en la fórmula para la obtención de la muestra se consideran los siguientes valores: n= 147 con N= 201, Z= 1.96, e= 0.05, p= 0.5 y q= 0.5

### **Procesamiento de datos y análisis de la información**

El procesamiento de los datos para analizar las variables observadas consiste en:

- Para la medición de las habilidades y competencias:
  1. Cuantificación del puntaje total por grupo de las pruebas o test de habilidades y competencias aplicadas con apoyo de las herramientas de Excel.
  2. Aplicación de la prueba de Fiabilidad del Alfa de Cronbach con el sistema estadístico SPSS para discriminar los ítems o planteamientos no confiables.
  3. Comparación de los puntajes obtenidos con el puntaje óptimo del 100% para obtener la brecha faltante de conocimiento.
- En la medición de las variables de desempeño y potencial:
  1. Cuantificación del puntaje total por grupo de la variable del desempeño.
  2. Cuantificación del puntaje total por grupo de la variable del potencial.
  3. Ubicación de los resultados del puntaje por docente de acuerdo con la cuadrícula (ver Figura 2 y Tabla 3)



**Figura 2.** Ubicación del docente con las variables del desempeño y potencial.

Fuente: Publishing (2013)

**Tabla 3.** Segmento de ubicación del docente según su desempeño y potencial

AREA	UBICACIÓN EN EL SEGMENTO:
2,3 y 6	Alto desempeño o rendimiento
1,4 y 5	Colaborador sólido
7,8 y 9	Bajo rendimiento

Fuente: Elaboración propia.

### Resultados

Para efectos de estar en los límites aceptables solo se aceptan los valores que arrojan un coeficiente del Alfa de Cronbach ( $\alpha$  mayor que 0.7) en un criterio general como lo marca George y Mallery (2003) (Tabla 4).

**Tabla 4.** Valores de alfa de cronbach (fiabilidad) de los instrumentos.

INSTRUMENTO	Ítems	CONFIABILIDAD (Alfa de Cronbach)
Test 1. Liderazgo	10	0.820
Test 2. Comunicación	9	0.720
Test 3. Toma de decisiones	10	0.806
Test 4. Trabajo en equipo	10	0.894
Test 5. Resolución de conflictos	10	0.810
Test 6. Negociación	10	0.712
Test 7. Actitud frente al cambio	9	0.922
Test 8. Motivación	10	0.856
Lista de verificación. Delegar	14	0.717
Prueba. Búsqueda de información.	12	0.467

Fuente: Elaboración propia apoyados por el sistema SPSS ver.24

Del análisis para conocer la brecha de conocimiento faltante se identifican tres habilidades y competencias profesionales que están con valores superiores al promedio obtenido de todas las analizadas como se muestra a continuación (Tabla 5):

**Tabla 5.** Brecha de conocimiento faltante por habilidad y competencia profesional.

HABILIDAD Y/O COMPETENCIA PROFESIONAL	Puntaje			
	Puntaje docente	máximo a obtener en	Brecha faltante	Porcentaje brecha

el instrumento				
LIDERAZGO	13884	14700	-816	-6%
COMUNICACIÓN	12518	13230	-712	-5%
TOMA				
DECISIONES	13290	14700	-1410	<b><u>-10%</u></b>
TRABAJO EQUIPO	13874	14700	-826	-6%
RESOLUCION				
CONFLICTOS	13868	14700	-832	-6%
NEGOCIACIÓN	12459	14700	-2241	<b><u>-15%</u></b>
ACTITUD CAMBIO	12483	13230	-747	-6%
MOTIVACIÓN	13921	14700	-779	-5%
DELEGAR	1890	2058	-168	<b><u>-8%</u></b>
<b>PROMEDIO</b>				<b>-7%</b>

Fuente: Elaboración propia.

### **Brecha de conocimiento faltante en habilidades y competencias.**

Podemos inferir que la disponibilidad de capital humano en la variable de las habilidades y competencias profesionales se representa de la siguiente forma:

Disponibilidad del capital humano (D.C.H.) =

Meta 100% menos brecha promedio faltante de conocimiento

$$D.C.H. = 100\% - 7\% = 93\%$$

Para la obtención de la ubicación de los docentes según la medición de sus variables del desempeño y potencial se muestran los resultados como sigue:

En el análisis de la evaluación al docente en las variables del desempeño y potencial, se obtienen los valores promedio y la gráfica correspondiente como sigue (Tabla 6 y Figura 3):

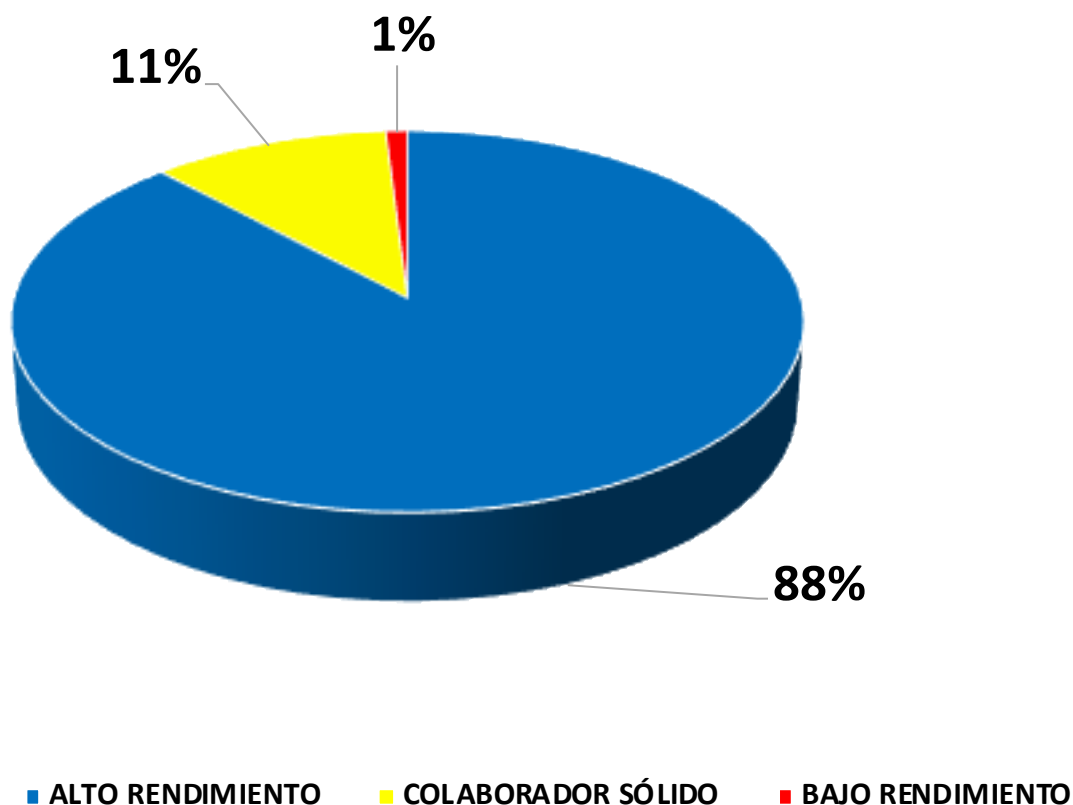
**Tabla 6.** Valor promedio del desempeño y potencial del personal docente

<b>Variable de estudio</b>	<b>PROMEDIO</b>
DESEMPEÑO	87%
POTENCIAL	90%

Fuente: Elaboración propia

## DESEMPEÑO Y POTENCIAL

### Campus Monclova y Piedras Negras



**Figura 3.** Ubicación del personal según su desempeño y potencial. Fuente: Elaboración propia.

Incluye 147 docentes evaluados como población de estudio.

Con la obtención de los resultados de las tres variables: Habilidades y competencias profesionales, desempeño y potencial, tenemos como resultado la disponibilidad promedio del capital humano como sigue (Tabla 7):

**Tabla 7.** Indicador de la disponibilidad del capital humano en los dos campus de estudio.

Variable integrada	Porcentaje promedio %
Habilidades y competencias	93
Desempeño	87
Potencial	90
PROMEDIO	90

Fuente: Elaboración propia.

Se cuenta con la disponibilidad y autorización de las autoridades educativas de cada plantel para tener el acceso con las personas de mandos medios y superiores responsables del personal docente. La muestra la conforman 10 directivos de mando medio y superior en los dos planteles educativos. Estas personas fueron elegidas por cubrir las siguientes características y/o criterios para su inclusión:

1. Son responsables de grupos docentes en áreas académicas o administrativas.
2. Tienen al menos 3 trimestres o más de experiencia y trato con el docente en la universidad.
3. Tienen un puesto de jefe de área, subdirección o puesto equivalente de mando medio o superior en la institución educativa.

En el análisis de las respuestas obtenidas a través del instrumento de verificación que incluye planteamientos para conocer la gestión de desarrollo del docente por parte de los directivos de mando medio y superior se aceptan con un resultado confiable de una puntuación de fiabilidad de 0.776 (alfa) en dos de sus ítems.

Este resultado arroja que el personal directivo cuenta con conceptos e ideas en el rango de “bueno” interpretado en una escala de término medio para explicar de forma más comprensible este resultado. La idea de cómo manejar la gestión del docente y sus necesidades de desarrollo tiene algunos aspectos que refiere como

necesario fortalecer para llenar vacíos en dos de las áreas identificadas y verificadas como se sugiere más adelante en las recomendaciones.

### **Discusión.**

En observación al marco teórico de estudio identificado y observando la teoría que fundamenta y justifica la realización de esta investigación, podemos inferir la necesidad de contar con evaluaciones que integren no solamente una capacitación de las técnicas didácticas que sabemos que en general se les brinda a los docentes dentro de sus entidades educativas, sino que también sea integrada en una capacitación específica, otros rubros identificados, como habilidades y competencias profesionales. Con la variable del desempeño, podemos observar que si se encuentra presente como parte de la evaluación al docente desde el punto de vista del alumno y, en este trabajo, proponemos una evaluación formal y directa también por parte del directivo responsable del cuerpo docente en donde se integre dentro de esta evaluación la opinión del directivo responsable sobre el potencial que ofrece el docente, esto, como aportación de esta investigación acerca de una variable que observamos existen pocos estudios de aplicación para su integración en la evaluación del personal docente.

En esta nueva forma de operar que actualmente deja a su paso los aprendizajes de la contingencia de salud en la época en la cual se desarrolla este trabajo de investigación, hemos visto con mayor énfasis que la disponibilidad del capital humano, concepto de estudio de esta investigación y que se interpreta como las fortalezas y cualidades al alcance de docente, la capacidad de ser eficiente antes los diferentes retos o la operatividad aplicada en un tiempo determinado, entre otros conceptos, se considera como el principal activo que, cuando está muy bien identificado y desarrollado como parte de la economía del conocimiento, dará el soporte necesario y será uno de los motivadores esenciales para que cada una de las entidades aprovechen y alcancen en el menor tiempo sus metas con el mayor aprovechamiento por el uso adecuado de sus recursos y con un mayor grado de

eficiencia siempre que se sostenga un método de aplicación constante con las mejoras y adecuaciones detectadas que fomenten el incremento de la disponibilidad del capital humano a través de la identificación de las brechas de conocimiento faltantes en el personal docente.

Las limitaciones de este trabajo de investigación son, en primer lugar, que el estudio cubre solo dos de las entidades privadas del sistema de UANE y se aplica solo al personal docente como población objeto de estudio. En segundo lugar, el estudio se realiza específicamente en tres variables: habilidades y competencias profesionales, el desempeño y el potencial. Las mejoras que serán el producto intangible que se fomenta en los docentes durante el desarrollo de una capacitación específica en las áreas de oportunidad identificadas, consideramos que, en una opinión conjunta con los directivos de mando medio y superior, se podrán apreciar como resultados tangibles en el mediano y largo plazo y que tendrán un efecto positivo en los indicadores de crecimiento al interior de cada universidad como la baja de quejas de la comunidad escolar, mejora de una imagen corporativa, aumento de matrícula etc.. entre otros indicadores expresados por los mandos medios y superior durante el transcurso de esta investigación en los que la entidad podrá monitorear el avance significativo en el mediano plazo.

Entre las futuras líneas de investigación está el dar seguimiento a la detección de las mejoras como producto de los resultados creados y causados por los intangibles de mejora propuestos en el método híbrido de evaluación estratégica de esta investigación.

## **Conclusiones**

1. En relación con nuestra primera hipótesis podemos inferir en primera instancia que es necesario contar con una metodología que refuerce la disponibilidad de su capital humano docente como lo es la intención de esta propuesta de investigación para que, de este modo y como parte de una estrategia, se identifique con mayor claridad y se trabaje más específicamente la evaluación

de la disponibilidad de su personal. Los mandos medios y superiores están de acuerdo que si se deberá generar un crecimiento en el mediano plazo si las áreas de mejora son identificadas y trabajadas con oportunidad para alcanzar una mejora tangible.

2. En relación con la 2ª hipótesis podemos confirmar que en las dos instituciones si se cuenta con un rango de buena gestión en el desarrollo del docente bajo la observación que, por estrategia, se deben observar algunos aspectos con mayor énfasis para ponerse en la práctica como se citan más adelante en las recomendaciones.
3. En referencia a nuestro objetivo general en este estudio podemos afirmar que esta meta se alcanzó al 100% al contar con la autorización y puesta en marcha de la propuesta de un método apoyado por los directores de los dos planteles para trabajar con sus directivos de mando medio con la entrega de la información generada y de un plan de trabajo con el convencimiento de las ventajas que pueden darse a partir de fomentar la creación de intangibles de mejora que resultan como producto en el mediano y largo plazo para el crecimiento ante la detección de las áreas de oportunidad en las que se debe impartir una capacitación estratégica y directa en los rubros que sean detectados con mayor necesidad para el desarrollo del cuerpo docente.

Por lo anterior y con el fin de buscar mejoras, se recomienda:

- A. Observar dos aspectos con mayor énfasis para ponerse en la práctica con el personal docente como:
  1. La entrevista individual para una identificación específica de perspectivas.
  2. La aplicación de desarrollo de planes individuales que pueden integrarse dentro de un programa de capacitación general a determinados grupos de docentes con ciertas necesidades de desarrollo identificadas de forma específica en cada uno de ellos.

B. Aplicar la metodología híbrida de evaluación estratégica del personal docente propuesta en este trabajo para la identificación de la disponibilidad del capital humano.

### **Agradecimientos:**

A las autoridades de las entidades educativas universitarias de los Campus de Monclova y Piedras Negras de UANE por permitir el acceso a sus instalaciones para el desarrollo de esta investigación y al apoyo de los recursos de financiamiento aportados para realizar este trabajo por parte de la organización de Lottus Education.

### **Referencias bibliográficas**

Aravena-Gaete, M. E., y Garín Saillán, J. (2021). Evaluación del desempeño docente: una mirada desde las agencias acreditadoras. *Profesorado: Revista de currículum y formación de profesorado*, 25(1): 297-317. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.30827/profesorado.v25i1.8302> Fecha de consulta: 20 julio del 2022.

Bernal González, I. (2021). Influencia de la creatividad, competencias y colaboración del capital humano en el desempeño contextual de las instituciones de educación superior. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23): 22-23. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.986> Fecha de consulta: 01 de julio del 2022.

George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference. 11.0 update.* (Cuarta edición). Michigan: Ed. Allyn & Bacon. 386 Pp.

González Cisneros, A.L., Pedraza Melo, N.A., Barajas Villarruel, J.I., & Álvarez Herrera, M. (2021). Capital humano, aprendizaje y desempeño organizacional en escuelas de educación media superior mexicanas [Edición especial]. *Revista de Ciencias Sociales*, XXVII(4): 283-305. [En línea]. Disponible en: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/racs/index> Fecha de consulta: 29 de Junio del 2022.

Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (2004). *Mapas Estratégicos: Convirtiendo los activos intangibles en resultados tangibles*. (Primera edición). Barcelona: Ed. Harvard Business School Publishing Corporation. 503 Pp.

Muñoz-Repiso, A., Hernández Martín, A., Mena Marcos, J.J., Iglesias Rodríguez, A., Casillas Martín, S.R., Cabezas González, M., & Basilotta Gómez-Pablos, V. (2019). *Modelo de indicadores para evaluar la competencia digital de los estudiantes tomando como referencia el modelo DigComp*. (INCODIES). [En línea]. Disponible en: <https://gredos.usal.es/handle/10366/139409> Fecha de consulta: 15 julio del 2022.

One-solution (2017). Test de habilidades gerenciales. *One-solution Consulting Group*. [En línea]. Disponible en: <http://www.onesolution.mx/testonesolution2.php> Fecha de consulta: 20 de febrero del 2017

Publishing, H. B. (2013). Harvard Managementor. *Harvard Business review* [En línea]. Disponible en: <https://hbr.org/harvardmanagementor> Fecha de consulta: 15 de mayo del 2013.

## **El control de la vagancia y la criminalidad. Saltillo, 1810-1836**

### **Vagrancy control and criminality in Saltillo, 1810-1836.**

Dukary Martínez Arriaga, José Gabino Castillo Flores

Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Autónoma de Coahuila.

Calle Benito Juárez, número 139, zona centro, cp. 25000, Saltillo, Coahuila.

Correspondencia para autor

José Gabino Castillo Flores

[gabinocastillo@uadec.edu.mx](mailto:gabinocastillo@uadec.edu.mx)

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2347-3639>

**RESUMEN:** Este artículo analiza las medidas tomadas, primero por las autoridades virreinales, y luego por las nacionales, en torno a la vagancia y la criminalidad entre 1810 y 1836. Para un análisis más minucioso se estudia el caso de Saltillo, particularmente las medidas tomadas por el ayuntamiento local para combatir el creciente número de vagos y los desórdenes públicos en una época marcada por la guerra, el hambre y las enfermedades. En este texto se sostiene que los discursos construidos en torno a estos problemas, estuvieron mediados tanto por factores ideológicos, emanados del pensamiento ilustrado, el utilitarismo y el liberalismo, así como por factores políticos que caracterizaron el inestable periodo posterior a la independencia y el primer federalismo. Basándonos en ordenanzas, bandos, actas de cabildo y una amplia bibliografía, demostramos que los discursos emanados de las élites virreinales y nacionales partieron de una reinterpretación del binomio trabajo-ocio y de un profundo miedo a los sectores marginados que crecían en número a fines del siglo XVIII e inicios del XIX.

**PALABRAS CLAVE:** Saltillo, vagos, bandos de policía, control social, criminalidad.

**ABSTRACT:** This article analyzes the measures taken, first by the viceroyalty authorities, and then by the national ones, regarding vagrancy and criminality between 1810 and 1836. For a more thorough analysis, the case of Saltillo is studied, particularly the measures taken by the local municipality to combat the growing number of vagrants and public disorder in a time marked by war, famine, and disease. This text argues that the discourses built around these problems were mediated both by ideological currents such as the Enlightenment, Utilitarianism, and Liberalism, as well as by political factors that characterized the unstable period after independence and the first federalism. Based on ordinances, edicts, town hall acts, and comprehensive bibliography, we show that the discourses emanating from the viceroyalty and national elites came from the reinterpretation of the work-leisure binomial and a deep fear of the marginalized sectors that grew in number at the end of the eighteenth and early nineteenth century.

**KEYWORDS:** Saltillo, vagrants, ordinances, social control, crime.

## Introducción

El primero de febrero de 1784 se publicó, en la villa de Santiago del Saltillo y en el pueblo de San Esteban de la Nueva Tlaxcala, un bando emitido, en diciembre del año anterior, por el Gobernador y Comandante General de las Provincias Internas de la Nueva España. Dicho documento estipulaba que ningún vecino indio, o de cualquier otra casta, podría salir del pueblo o misión

donde tuvieran su residencia sin una licencia donde se especificara el objetivo de su salida, dada por las autoridades locales o por el cura doctrinero (AMS, 1784). De acuerdo con el gobernador, la medida se tomaba “por no haberse puesto la debida exactitud y cuidado en la ejecución y cumplimiento de los repetidos bandos que se han publicado en diferentes tiempos para que se persigan, aprehendan y castiguen los ociosos, vagabundos, viciosos y gente de mal vivir” que transitaba por la región (AMS, 1784). Esta omisión, según dicho gobernador, había ocasionado que aumentara:

Considerablemente el número de facinerosos y malhechores, y que, agregándoseles muchos naturales fugitivos de sus pueblos y misiones, forman cuadrillas y cometen robos, muertes y otros graves daños de que no es fácil averiguar los verdaderos autores porque, ejecutándolos disfrazados en traje de apaches, se atribuyen comúnmente a estos y a los demás enemigos que hostilizan en las provincias, sin que la tropa pueda evitarlos (AMS, 1784).

Aquel bando, publicado en 1784, era la punta del iceberg de un problema social y político que afectaba a buena parte del imperio español hacia finales del siglo XVIII. Plantearemos tres aspectos fundamentales que constituyen esta problemática. En primer lugar, a finales del siglo XVIII se precarizaron las condiciones de vida en los territorios de la corona española debido a las continuas epidemias, el alza de precios, las guerras imperiales, la escasez de alimentos y la falta de empleo (Canales, 2019). Todo esto generó el aumento de la pobreza y de la migración hacia las villas y ciudades. En segundo lugar, hay que considerar que esta precarización generó, además, el alza de la criminalidad como una actividad marginal que permitía el rápido acceso a recursos. Esta práctica era resultado, al menos en parte, de las condiciones políticas generadas por la fuerte centralización y extracción de recursos promovida por las reformas borbónicas que produjeron descontentos y levantamientos sociales a nivel local y regional (Hamnett, 1991). Finalmente, estas condiciones agravaron la forma negativa en que las élites percibían a los grupos marginados: indios, afrodescendientes, mestizos y “castas” en general (Calvo, 2003).

Dicho agravante provino de algunos cambios en la forma de percibir a la pobreza durante la segunda mitad del siglo XVIII. El desarrollo del pensamiento ilustrado y la difusión del utilitarismo de Jeremy Bentham (1780-1815) fueron dos filosofías que transformaron los imaginarios en torno al ocio y el trabajo. Ambas proponían que los individuos debían inclinarse por el bien común (Murillo, 2022). Basados en este principio, toda persona debía ser útil a sus congéneres con la finalidad de que la comunidad alcanzara siempre al mayor grado de felicidad. En este acto, la ley cumplía un importante papel, garantizando las condiciones necesarias para alcanzar estos fines en favor del bienestar general. Este pensamiento derivó en el razonamiento de que toda persona que no fuera útil socialmente era, por lo tanto, un probable transgresor del orden, lo que llevó a un fuerte control social sobre las personas consideradas ociosas e inútiles. Resultado de esta nueva percepción del individuo, el trabajo, el ocio y la sociedad, fue la publicación de la *Ordenanza para corregir la vagancia*, de 1745. En ella se declaró por vago, “al que, sin oficio ni beneficio, hacienda o renta vive sin saber de qué le venga la subsistencia por medios lícitos y honestos” (Magallanes, 2008).

Basado en lo anterior, nuestro trabajo se propone analizar, desde una perspectiva social, la forma en que se percibió a la vagancia en Saltillo entre 1810, año de inicio del movimiento insurgente, y 1836, momento en que finalizó la primera república federal como forma de gobierno y se independizó Texas del territorio nacional, finalizando también su unión con el estado de Coahuila. Consideramos que estos acontecimientos fueron importantes al momento de construir la noción de vagancia y criminalidad por parte de las autoridades locales. Consideramos que esta investigación abona al estudio de los grupos subalternos y a la comprensión de las condiciones económicas, sociales y políticas que llevaron a un fuerte distanciamiento entre las élites y los sectores populares entre finales del antiguo régimen y el inicio de la época independiente.

Estamos convencidos de que trabajos de esta naturaleza son importantes para comprender que, tanto en el pasado, como en el presente, las nociones sobre la pobreza y la criminalidad responden a construcciones hechas desde la élite que, muchas veces, contribuyen a marginalizar y criminalizar a los sectores sociales pobres. Consideramos que sus condiciones de precariedad los llevan a vivir al límite de la permisividad y a la construcción de prácticas sociales, e incluso de ocio, que sirven como válvulas de escape ante la presión de estructuras económicas que los excluyen y marginalizan.

Sobre la materia se han escrito diversos trabajos que proponen variadas rutas de investigación. A continuación, mencionaremos algunos de los que han sido indispensables para la presentación de estos primeros resultados de investigación. Sonia Pérez (1993), por ejemplo, analizó la persecución que emprendieron las autoridades de la ciudad de México a partir de 1821 con la intención de mantener el orden en la capital novohispana. La autora estudia lo complicado que fue definir a los vagos por la delgada línea que los diferenciaba de los individuos desempleados. Este tema logró paliarse, en parte, con el establecimiento del tribunal de vagos en 1828, instrumento jurídico que servía para calificar y sentenciar a los acusados de vagancia, dándoles a estos el derecho de apelación mediante testigos en un plazo de tres días.

La enorme imbricación que este tema tiene con el tema del trabajo y el ocio, llevaron a la autora a publicar un nuevo texto (Pérez, 1996), resultado de su tesis doctoral, en el cual analizó este tema ligado a las condiciones laborales de los artesanos a finales del siglo XVIII. En dicho texto, la autora analizó, además, los cambios en la estructura del mercado, la organización gremial del artesanado y hasta su formación moral para comprender los cambios en la percepción del trabajo en una época de crisis. En suma, los textos de Pérez nos ayudan a comprender que, a fines del XVIII, los cambios en la percepción del trabajo y particularmente del artesanado, que afrontaba la crisis económica y la apertura de los mercados americanos a nuevas mercancías, llevaron a una precarización de las condiciones de vida que aumentaron el desempleo. Lejos

de una explicación sociológica, basada en la precarización de las condiciones de vida, las autoridades virreinales de la época encontraron en el aumento de desempleados y menesterosos en las villas y ciudades un acto peligroso para la quietud pública motivado por el repudio al trabajo y el aumento de los vicios y la holgazanería (Castillo, 2022).

Misma línea que los textos anteriores sigue la obra colectiva *Trabajo, ocio y coacción. Trabajadores urbanos en México y Guatemala en el siglo XIX* (Lida y Pérez, 2001). Los diversos textos reunidos abordan, por un lado, todo lo referente al mundo del trabajo, desde la formación de los trabajadores, ocupaciones, vida cotidiana, legislación laboral y ocio. Por el otro, muestran los continuos intentos de las élites por redefinir el papel del trabajo y de los trabajadores, desde la modernidad enmarcada en el liberalismo económico de finales del antiguo régimen y principios del siglo XIX. Modernidad que, además, se enmarcaba en la construcción de los nuevos estados nacionales americanos y en la necesidad de crear ciudadanos industriales que produjeran excedentes para dinamizar las economías de mercado. Resultado de esto fue la persecución de la ociosidad como una actitud perniciosa para la sociedad y la economía nacional.

La erradicación de la vagancia se volvió una necesidad y una actividad fundamental para los ayuntamientos locales que proliferaron luego de la promulgación de la constitución de Cádiz de 1812. En su capítulo I (“De los ayuntamientos”), título VI, se especificó todo lo referente a las facultades de los ayuntamientos, entre ellas se encontraba “auxiliar al alcalde en todo lo que pertenezca a la seguridad de las personas y bienes de los vecinos, y a la conservación del orden público” y “Promover la agricultura, la industria y el comercio según la localidad y circunstancias de los pueblos, y cuanto les sea útil y beneficioso” (Olveda, 2012). Desde 1820, cuando la constitución de Cádiz se adoptó en territorio mexicano de forma definitiva, sus disposiciones sobre seguridad y promoción de la industria y la agricultura quedaron ligadas a los ayuntamientos, los cuales las materializaron a través de bandos de policía

y buen gobierno que circularon de manera local. Como señalaremos más adelante, en ellos predominó esta visión de control social que caracterizó la persecución de la vagancia.

Con una perspectiva muy similar a los textos de Lida y Pérez, aunque no tan centrada en el ámbito de los trabajadores, se encuentra los textos de Sacristán (1994), Sánchez (1998), Gómez (1998) y Sánchez (2015). Para dichas autoras y autores, a finales del siglo XVIII se dieron una serie de circunstancias que generaron el aumento de la mendicidad, el hacinamiento, la migración y la criminalidad que las autoridades vieron como amenazas a la tranquilidad pública. De acuerdo con Cristina Sacristán (1994), a finales del periodo virreinal las autoridades tomaron en sus manos el tutelaje social que implicó la persecución y erradicación de aquellos personajes considerados perniciosos para la sociedad, tales como los criminales, los locos o los vagabundos, cuyos comportamientos alteraban el orden social. Su postura coincide con María Gómez para quien las autoridades, lejos de atender los problemas estructurales, enfrentaron estas amenazas mediante la construcción de un aparato represivo y la creación de instituciones de contención como el Hospicio de Pobres de 1774 (Gómez, 1998). De acuerdo con esta última autora, tales medidas formaron parte de un conjunto mayor de reformas que se llevaron a cabo a finales del virreinato, particularmente en la última década, que abarcaron aspectos como la higiene, el vestido y los comportamientos sociales, todo ello como una forma de control de los espacios urbanos.

Por su parte, Enrique Sánchez (1998) y Adriana Sánchez (2015), coinciden en ver el incremento de la vagancia y la marginación como resultado de problemas estructurales que derivaron en crisis sociales y económicas a finales del siglo XVIII e inicios del XIX tanto en el mundo europeo como en el americano. Enrique Sánchez ha analizado el caso de la vagancia en Santa Fe de Bogotá entre 1765 y 1810, mientras que Adriana Sánchez centró su atención en la Costa Rica del siglo XIX. Para ambos autores, el aumento de la miseria generó un crecimiento progresivo de mendigos, vagos, prostitutas y

demás grupos subalternos que se encontraron al margen de la permisividad y se volvieron objeto de la persecución por parte de las instituciones de corrección estatales. El primer autor, pone su atención en las prácticas de control ejercidas desde un marco normativo-administrativo, mientras que la autora lo hace desde la historia del trabajo y con una perspectiva global de largo aliento. No lejos a ellos se encuentra Alejandro Pesina (2021), quien en su texto *vagancia y ociosidad en Tamaulipas (1825-1857)* describe el complejo proceso que llevó a la configuración de la vagancia como una de las actividades más perniciosas para el estado y la respuesta normativa que se dio ante la misma. De acuerdo con este autor, las condiciones político-sociales de inicios del siglo XIX fueron el medio propicio para estos debates incluso filosóficos en torno a la sociedad y el papel del individuo en ella. Reflexiones que, volvemos al tema, partieron de los postulados del pensamiento ilustrado, el utilitarismo y el liberalismo político y económico de principios del siglo XIX (Castillo, 2022).

A pesar de los marcos teóricos distintos, podemos decir que estos trabajos coinciden, como muchos de los citados arriba, en que el aumento de la vagancia fue resultado de una serie de acontecimientos económicos, sociales, políticos y filosóficos que precarizaron las condiciones de vida. No obstante, la respuesta, primero del estado español y luego de las autoridades locales y estatales americanas, fue la de crear aparatos de represión y contención de la vagancia por asimilarla con la criminalidad. Esta postura se reforzó aún más a inicios del siglo XIX debido al aumento de personas sin empleo, el bandolerismo y la inseguridad que resultaron de los acontecimientos políticos y militares que acompañaron los procesos de independencia nacionales. Como bien han señalado Richard Warren para el caso mexicano (Warren, 1996) y Marta Irurozqui para el boliviano (Irurozqui, 1996), la contención de los grupos populares se llevó a cabo también como una forma de control de las masas que podían ser peligrosas en momentos coyunturales como revueltas, periodos electorales o tiempos de escasez. Estas acciones buscaron, por tanto,

mantener el orden social en los tiempos convulsos y de desorden político-administrativo que caracterizaron la conformación de los estados nacionales en las décadas de 1820-1830.

Como puede apreciarse hasta aquí, la vagancia es un tema que puede ayudarnos a comprender diversos procesos políticos, sociales y económicos que caracterizaron el paso del antiguo régimen al periodo decimonónico. En este proceso, la conformación del Estado nacional y de un aparato administrativo, legal y correccional se convirtió en el aspecto más relevante para comprender las posturas de las autoridades locales y estatales frente a la vagancia, el ocio y la criminalidad. Con esto el presente trabajo busca comunicar los primeros resultados de un proyecto que, además de llenar una laguna historiográfica sobre el tema, pretende ayudar a comprender el complicado proceso de transición hacia el periodo independiente, la construcción del Estado nación y la conformación de la sociedad decimonónica.

### **Materiales y Métodos**

Esta investigación, además de una amplia bibliografía, se basó en diversas fuentes que posibilitaron comprender la percepción que se tuvo de la vagancia y la criminalidad en las primeras décadas del siglo XIX. Las más importantes para este trabajo fueron las actas de cabildo de Saltillo de 1800-1836; los *bandos de buen gobierno*, elaborados por esta misma corporación en 1830, 1832, 1833, 1834 y 1835; *La ordenanza para corregir la vagancia*, de 1745, y la *Ley de 3 de marzo de 1828 para corregir la vagancia y su reglamento*.

*La ordenanza para corregir la vagancia*, de 1745, es uno de los documentos más importantes para esta investigación. En ella se estipuló todo lo concerniente a la definición de los vagos con la finalidad de clarificar lo que se entendía por tales y diferenciar a estos personajes de los verdaderos mendigos y menesterosos. Este documento resume todo el imaginario que, a

mediados del siglo XVIII, se construyó sobre la vagancia, el ocio y el trabajo en el territorio novohispano.

Resultado del pensamiento ilustrado y de las preocupaciones de la Corona por efficientar su economía y mantener el orden social durante la época de las reformas borbónicas. La definición de la vagancia que propone la ordenanza de 1745 impactó en la legislación local pues se aplicó a nivel virreinal. Por ejemplo, sus ecos se encuentran en las actas de cabildo y los bandos de buen gobierno del ayuntamiento de Saltillo, otras de nuestras fuentes importantes. Las primeras fueron documentos emitidos por los miembros de dicho ayuntamiento (tanto en su momento de pertenencia al imperio español como de la etapa independiente) en los cuales se asentaron todas las resoluciones emitidas por esta corporación en favor de la policía y buen gobierno de la villa.

En las mencionadas actas es posible ver las principales preocupaciones de las autoridades locales y los problemas que enfrentaron para mantener el orden en esta población fronteriza. Como una de las principales actividades para la regulación de la vida local por dichas autoridades, estuvo la elaboración de los *Bandos de buen gobierno*. Se trató de documentos normativos en los que se estipularon las obligaciones que tenían los habitantes de la villa para mantener el orden. Dichos bandos construyeron normativas partiendo de las necesidades locales, pero también reprodujeron medidas dictadas a nivel virreinal y luego federal, como las apuntadas en la citada *ordenanza* y en la *Ley de 3 de marzo de 1828 para corregir la vagancia y su reglamento*. Usando estas fuentes hemos reconstruido, en la medida de lo posible, la visión que se tuvo sobre la vagancia en las primeras décadas del siglo XIX en la villa de Saltillo.

Ahora bien, esta investigación sigue métodos de la historia social en tanto que su objetivo se centra en comprender la manera en que se construyó la imagen de la vagancia. Es decir, la investigación propone que dicha práctica

o actividad, fue definida por la élite virreinal y nacional en un momento en el cual las condiciones de vida se habían precarizado en la Nueva España-México. Por lo tanto, dicha definición fue, en buena medida, una postura de persecución de todos los sectores considerados marginales (y, por lo tanto, peligrosos) y de muchas de sus prácticas y actividades de asociación. La aproximación a nuestras fuentes reconoce claramente el sesgo principal: estamos ante documentos oficiales que emanan de órganos de gobierno virreinales-nacionales y locales. Por esta razón, el presente trabajo se ocupa de analizar los discursos institucionales en torno a aquellas prácticas que, se consideró, violentaban el orden social que se pretendía lograr en una época marcada por el desmoronamiento de las estructuras del antiguo régimen.

No obstante, la transición a la etapa independiente no representó cambios radicales, antes bien, en el periodo estudiado se observan continuidades, resultado de que las prácticas políticas y el aparato estatal decimonónico se basaba en los mismos principios ideológicos que lo hacía el recién abolido régimen virreinal, es decir, el liberalismo y el pensamiento ilustrado. Por tanto, esta investigación presenta los primeros resultados del análisis del discurso oficial en torno a la vagancia. Quedará, para investigaciones subsecuentes, el estudio más fino de los acusados de vagancia o crímenes con la intención de buscar sus propias voces, tema que ya ha adelantado para la villa de Saltillo, Carlos Valdés (Valdés, 2002).

No obstante, cabe remarcar que este trabajo considera que muchas de las prohibiciones que se plasman en las fuentes son resultado de miedos y actos de contención por parte del Estado, hacia prácticas sociales que transgredieron el orden establecido. Por lo tanto, no pasamos por alto que en estas prohibiciones hay, en gran medida, como lo ha estudiado magistralmente Eric Hobsbawm (2001), un intento de represión sobre la reacción de parte de los sectores populares hacia el poder del Estado. O, como lo ha planteado James Scott, es importante poner atención en el hecho de que, en estas transgresiones, ya violentas o festivas, existen posicionamientos de poder que

pueden leerse en una perspectiva infrapolítica (Scott, 2004). A continuación, presentaremos parte de este análisis.

## **Resultados y discusión**

Uno de los principales documentos que atendieron el problema de la vagancia en la Nueva España fue la ordenanza de 1745. Si bien, como lo ha demostrado Norman (1957), la mendicidad fue un tema que preocupó a los gobiernos virreinales desde el siglo XVI, fue en el siglo XVIII cuando se brindó una atención sistemática al tema de la mendicidad y, en particular, al de la vagancia. Esto por razones que explicaremos adelante. En la mencionada ordenanza se definió quiénes deberían ser considerados como vagos. Dicho ordenamiento es de suma importancia para este proyecto debido a que de él se pueden sacar varios análisis.

Empezaremos por lo concerniente a la caracterización de la vagancia. De acuerdo con este documento, se declaraba por vago “al que, sin oficio ni beneficio, hacienda o renta vive sin saberse de qué le venga la subsistencia por medios lícitos y honestos” (Magallanes, 2008). Esta fue, en 1745, y lo siguió siendo hasta 1836, fecha que cierra nuestra investigación, la particularidad de las personas consideradas vagas. No obstante, esta definición se complementaba con otras más, enunciadas también en dicha ordenanza. Por ejemplo, se consideraría en el mismo rubro a quien, teniendo patrimonio o siendo hijo de familia, gastara su tiempo en casas de juego; a quien, estando sano y robusto, anduviere pidiendo limosna; el que anduviere distraído en la embriaguez; el que teniendo oficio no lo ejerciere; quien, siendo hijo de familia, se dedicara a escandalizar al vecindario o al ejercicio de malas costumbres; el que diera mala vida a su mujer con escándalo del público; y a quienes anduvieren de pueblo en pueblo como gaiteros, bolicheros, con animales adiestrados o mesas de dulces, entre otros (Magallanes, 2008).

De esta ordenanza podemos sacar algunas reflexiones. Como ya hemos señalado en el análisis historiográfico, para mediados del siglo XVIII, motivado por el pensamiento ilustrado, se dio en los territorios del imperio español, una revalorización del trabajo que llevó, también, a una nueva forma de percibir a los individuos y, en particular, a los sectores populares. En territorio español, los escritos de Pedro Rodríguez de Campomanes y Melchor Gaspar de Jovellanos, ambos miembros de la burocracia española de la segunda mitad del siglo XVIII (Morán, 2016), incidieron en la forma de percibir el trabajo. Estos personajes escribieron diversos tratados con miras al fomento la industria y la educación de los sectores marginales considerados peligrosos. El objetivo de estos ministros imperiales fue incentivar el espíritu productivo que, consideraban, era el medio para fortalecer la economía de la Corona y erradicar aquellas prácticas que distraían al vulgo de sus obligaciones laborales.

El pensamiento ilustrado consideró que todo individuo debía asumir un oficio u ocupación que le hiciera útil a la sociedad. Se consideró que, de no hacerlo, las personas se inclinarían hacia las malas costumbres y los vicios, lo cual era la cuna de todos los males y desórdenes (Calvo, 2003). François-Xavier Guerra (1993) ha analizado la forma en que se construyó un nuevo tipo de sociedad y de individuo a finales del siglo XVIII y principios del XIX. Esta acción, por parte del Estado, implicó la exaltación de la individualidad del hombre, desmembrado de sus vínculos de la sociedad estamental y corporativa a la usanza virreinal, tema de gran relevancia en una época de modernización política y económica en la cual el pueblo formó parte, cada vez más activa, como sujeto político.

Son estos nuevos planteamientos los que dan sentido a la ordenanza de 1745. Al mismo tiempo, como señalamos arriba, la definición de la vagancia en dicho documento nos habla de una percepción limitada de las élites virreinales. Es decir, de acuerdo con dicho documento, el aumento de la mendicidad a mediados del siglo XVIII es resultado de la holgazanería de los individuos y no

el resultado de la precarización de la vida generada por razones multifactoriales tales como epidemias, disminución de oportunidades de empleo, medidas económicas restrictivas de la Corona, malas cosechas, migración y un largo etcétera. Por lo tanto, las medidas tomadas por las autoridades, se enfocaron más en el castigo y en la persecución del ocio que en la atención a los problemas estructurales. Cuando, en 1784, el Gobernador y Comandante General de las Provincias Internas, envió a Saltillo el bando citado a inicios de este trabajo, en el cual ordenaba perseguir, aprehender y castigar “los ociosos, vagabundos, viciosos y gente de mal vivir” (AMS, 1784), hacía eco de esta legislación que consideraba como causantes de todos los males a los vagabundos y gente sin oficio que llegaba al septentrión novohispano.

No obstante, en medio de estas acusaciones hay muchos matices. Para fines del siglo XVIII en buena parte del virreinato se dieron procesos de migración ocasionados por malas cosechas y epidemias que azotaron el territorio novohispano. El aumento de la vagancia y la delincuencia que han estudiado los diversos autores citados en esta investigación, y que se repite en buena parte del virreinato, parece más una consecuencia de estos males que un aumento espontáneo de la mendicidad como forma de vida.

Esta misma percepción la encontramos en un documento, enviado para publicarse en forma de bando en la villa de Saltillo y otras poblaciones del noreste, por don Miguel José de Emparan, Gobernador Político y Militar de la Provincia de San Francisco de Coahuila, de 1795. De acuerdo con el gobernador:

Atendiendo a la introducción que en los últimos tiempos se advierte de gentes ociosas y mal entretenidas que lejos de servir al buen orden y policía de los pueblos, causan inquietudes y escándalos, desfigurando con sus vicios y ociosidad del buen semblante de las repúblicas, y con la mira de que florezcan las virtudes de los buenos, y de corregir, contener y prevenir la introducción de quienes perviertan a los bien intencionados, he dispuesto, que todo vecino pase luego aviso al respectivo juez de la persona o personas que llegasen a alojarse, sea en la casa de su habitación o en la que se las alquilen, a fin de que pasen a presentarse al juez, y que pueda este investigar el estado, patria, motivos y fines con que se introduzcan, sus inclinaciones, vida y costumbres, y finalmente cuanto estimare por conveniente y contribuya a desterrar, no consentir, y según las circunstancias, imponer las penas establecidas por

las leyes a los sujetos inquietos, poco seguros, y de mal vivir, vagabundos, y a los sin destino ni aplicación al trabajo (AMS, 1795).

Este texto es de gran interés en tanto demuestra que la percepción que se planteó en 1745, sobre la vagancia, sigue vigente en los imaginarios en torno al orden social. Demuestra, además, que la criminalidad ha seguido en aumento como consecuencia de los avatares de una estructura imperial que empieza a desmoronarse. Más que nunca, encontramos una preocupación de las autoridades de la villa de Santiago del Saltillo y del pueblo de San Esteban de la Nueva Tlaxcala por reprimir a los sectores sociales considerados peligrosos, controlar socialmente a la población y fortalecer una estructura de castigo. Sin embargo y antes de continuar, es preciso indicar una breve descripción de nuestro espacio de estudio: la actual ciudad de Saltillo.

Desde su fundación en 1577, hasta la década de 1830, Saltillo se consolidó como una de las villas más prósperas y económicamente fuertes del noreste novohispano. Fue fundada como la villa de Santiago del Saltillo por colonos españoles. Junto a dicha villa se creó, en 1591, el pueblo de San Esteban de la Nueva Tlaxcala con 90 de 400 familias de indios tlaxcaltecas traídos para apoyar el proceso de conquista y poblamiento del septentrión novohispano. Ambos asentamientos se establecieron en valles que tenían buenos recursos de suelo, madera y agua; contaba con acequias, arroyos, manantiales y ojos de agua, que fungieron como recursos esenciales para el desarrollo de los dos asentamientos. Pese a su cercanía, Saltillo y San Esteban se desarrollaron como jurisdicciones autónomas entre sí, es decir, con sus propias corporaciones y ayuntamientos.

De igual manera, hay que señalar que el 5 de noviembre de 1827, y como parte de la implementación de los primeros diseños del congreso del estado de Coahuila y Texas, se le concedió la denominación de ciudad a la antes villa de Saltillo. Cambiando, además, el nombre de las delegaciones de Saltillo y del pueblo de San Esteban, por Leona Vicario y Villalongín con motivo de honrar a dos héroes de la Independencia. Asimismo, Monclova había sido la

capital de la Provincia de Coahuila desde su fundación y hasta 1824, año en el que Saltillo quedó designada como la capital del nuevo estado de Coahuila y Texas o Coahuiltejas. Así coexistieron las dos poblaciones autónomas hasta su unión en 1834.

Ahora bien, como se aprecia en el texto de 1795, una de las medidas tomadas en todo el virreinato fue la de controlar la movilidad de las personas y vigilar a todos aquellos que se consideró sospechosos. Esta postura se recrudeció en esta época por el miedo a la presencia de espías de naciones extranjeras con las que se encontraba en guerra el imperio español. Por lo tanto, la medida de control era también una medida política que reflejaba el miedo cada vez más latente a los sectores populares, miedo que había crecido luego de las revueltas surgidas en algunas ciudades y centros mineros como respuesta a algunas medidas fiscales y laborales implementadas por los ministros imperiales ilustrados (Hamnett, 1991).

Las autoridades virreinales no estaban del todo erradas. La toma de España por Francia en 1808 y el inicio del movimiento insurgente en 1810 lo único que generó fue un recrudecimiento del aparato de censura, control y persecución del estado virreinal. En el caso de Saltillo, estos años coincidieron con periodos de epidemias, malas cosechas y escasez de alimentos en la región. En 1802, el ayuntamiento de la villa se quejaba porque la “terrible sequía que se está experimentando en todo el recinto de la jurisdicción de esta villa y otras epidemias, han dado margen a que, de un día a otro, hayan subido de precio las semillas de primera necesidad y principalmente las harinas aun siendo el tiempo de la cosecha” (AMS, 1802). Esto causaba preocupación al cabildo pues, “el mayor número del pueblo, que son los pobres será (si en tiempo no se pone el debido remedio) en quien caerá el mayor golpe de la calamidad”. Tiempo después, apenas un año antes del inicio del movimiento insurgente, los capitulares repetían su preocupación por la “terrible seca y la esterilidad de los años” (AMS, 1809). Estos señalamientos nos hablan de la conjugación de factores que pudieron incidir en el aumento de la criminalidad y

la vagancia en los diversos territorios del virreinato. A pesar de que el ayuntamiento de Saltillo, en una visión propia del paternalismo decimonónico, mostró preocupación por los pobres, la visión de la vagancia estuvo siempre mediada por la visión utilitarista de la que hablamos en el primer apartado de este texto. Es decir, la vagancia era resultado de un repudio hacia el trabajo y de una inclinación hacia las malas costumbres.

En las primeras décadas del siglo XIX, en Saltillo ya había una preocupación por el aumento de la inseguridad y la vagancia, temas que se recrudecían en las temporadas de la feria del comercio que se realizaba en el mes de octubre. En 1801, incluso se solicitó eliminar la tradicional quema de fuegos artificiales debido, según se argumentó, a “las muchas maldades que cometen las gentes vagabundas que son las que únicamente concurren a los fuegos a aprovecharse de la ocasión en los robos, embriagueces y demás excesos que les proporciona la misma concurrencia” (AMS, 1801).

En este mismo tenor, en 1805, se solicitó que “desde el día veintitrés del corriente y hasta fin de la feria, se iluminen las calles con faroles cada vecino en su respectiva pertenencia, como se verificó en este tiempo el año pasado, para precaver por este medio los desórdenes que pueda haber” (AMS, 1805). En suma, de acuerdo con los documentos de 1784, 1795 y las actas de cabildo, antes de 1810 el gobierno de la provincia y el ayuntamiento de la villa ya enfrentaban el problema del aumento de la vagancia y la criminalidad en la región. En Saltillo incluso, como había ocurrido en diversas ciudades y villas del espacio virreinal, se había dividido la población en barrios y cuarteles en los cuales se solía nombrar “alcaldes” para que atendieran los asuntos de justicia local (AMS, 1804). Como es de imaginar, esto era apenas el principio de un periodo de mayor efervescencia social, motivado por el inicio del movimiento insurgente.

El año de 1810, de acuerdo con nuestro análisis, fue un año coyuntural. El movimiento iniciado por Hidalgo recrudeció la situación de inestabilidad

social debido al miedo que se generaba ante la llegada de los insurgentes. El 30 de septiembre de 1810 el cabildo de la villa señalaba alarmado:

Han crecido las noticias de la insurrección o levantamiento de San Miguel el Grande, pueblo de los Dolores, y demás lugares. Para disponer la seguridad y quietud de este lugar y mucho más en las actuales circunstancias de la vasta concurrencia de la feria, en que con prudencia se teme que la gente vaga y mal entretenida pueda ocasionar algunos movimientos de robos, muertes y otros excesos, en común acuerdo se determinó se citase el comercio (MS, 1810a).

Aquella medida no hacía sino responder a las urgentes necesidades que conllevaba la protección de la villa y de los intereses de los comerciantes que solían reunirse en Saltillo a causa de la feria del comercio. En dicha reunión los comerciantes dijeron estar dispuestos a ofrecer sus personas y dinero para la protección de sus intereses. Además de ello, el ayuntamiento haría una solicitud al gobernador para que este acercara tropas a la villa. Esta preocupación no era exagerada. Saltillo era una villa cuya vitalidad provenía del comercio. El interés de las élites por la conservación del orden radicaba, a su vez, en la necesidad de garantizar sus intereses comerciales. Como ha señalado Alessio Robles (Alessio, 1979), para 1840 la arriería se había convertido en un “emporio comercial de todo Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Texas y porciones de Chihuahua y Durango” como resultado de la feria del comercio. Cincuenta años antes de esto, en 1791, Gaspar González de Candamo, gobernador del obispado de Linares, caracterizaba en esos mismos términos la relevancia de la feria:

Todos los años en los últimos días del mes de septiembre, se hace una feria en donde se proveen de cuanto necesitan para todo el año, no solamente los habitantes del Saltillo, sino todos los de las provincias del Nuevo reino de León, Coahuila y una gran parte de los de la Colonia del Nuevo Santander, que concurren a vender en ella lanas, cueros de venado, algodón, sal, mulas y algunos otros cortos efectos que producen aquellos países, y llevan en retorno ropa, cueros curtidos, jabón, monturas y varios comestibles que vienen de Michoacán y la Nueva Galicia, a saber: arroz, azúcar, garbanzo y otros artículos que no se cosechan en estas tierras. Con este motivo viene a ser la villa de Saltillo como un almacén donde no solamente se proveen en tiempo de la feria las provincias de la comarca, sino que a ella concurren para surtirse por entre años de los artículos que se escasean (Villarreal, 2002).

Esta relevancia del comercio en la villa fue uno de los factores más importantes para que las autoridades locales pusieran atención en el tema de la seguridad. Dicha preocupación permeó los discursos en torno a la vagancia y la criminalidad. Es importante que esto lo analicemos relacionado con lo señalado arriba: durante la primera década del siglo XIX las condiciones de vida es muy probable que se hubieran deteriorado en la región debido a lo que el propio ayuntamiento señalaba como un periodo caracterizado por “la esterilidad de los años” (AMS, 1809). A esto hay que sumar, lo que se ha señalado arriba: el papel que cumplieron las crisis de mortalidad, como la epidemia de tifo de 1814, la cual asoló a la región (González, 2018; 2020). Ello podría explicar también los cambios demográficos ocurridos en la población. Por ejemplo, mientras que, en 1788, la población de Saltillo era de unos 8,291 habitantes, para 1813 la cifra alcanzaba 21,821 (Rodríguez, 2010). Como puede apreciarse, en apenas dos décadas, la población había casi triplicado su número, al presentar un aumento de 163.19%. Este acrecentamiento, consideramos, pudo ser el resultado de las condiciones de precarización de la vida en la región y en otras partes del territorio novohispano. El incremento de la población no solo era natural, respondía a la migración de los habitantes que se trasladaban a la villa en busca de trabajo.

El aumento poblacional reforzó la necesidad por resguardar el orden público. No debemos olvidar que esta vigilancia crecía cuando se acercaban los tiempos de la feria y lo hizo aún más ante la eminencia del movimiento insurgente. Desde agosto de 1810 se fortaleció la vigilancia de la villa con acciones muy concretas: se realizaron patrullas en los diversos cuarteles, se fortaleció el sistema de serenos que vigilaban durante las noches y madrugadas, se iluminaron las calles y se prohibió toda aglomeración de personas en “lugares públicos y de comercio” (AMS, 1810b). Asimismo, se ordenó llevar un registro de toda la gente sospechosa y decomisar cualquier tipo de arma. Todo ello, según señaló el ayuntamiento, “para que con el

vecindario se camine de acuerdo en un asunto en que interesa el bien público y la seguridad de la patria” (AMS, 1810b).

Todas estas medidas se tomaron apenas unos meses antes de la feria de 1810. Hasta aquí, las cosas no cambiaban mucho en relación a los años anteriores. No obstante, el problema ya no parecía responder únicamente a la estación de la feria. En noviembre del mismo año, los capitulares señalaban su preocupación por la:

Numerosa [...] concurrencia de gente que de toda clase se va hospedando en esta villa, y que entre ellos hay algunos de sospecha que puedan ser emisarios de los insurgentes, especialmente unos que acaban de llegar, y se han alojado en el pueblo de Tlaxcala (AMS, 1810c).

Como puede apreciarse, Saltillo empezaba a ser un punto de llegada, tal vez deberíamos decir de refugio, en un periodo de precarización de la vida ocasionado por la escasez, la enfermedad y la guerra. En 1817, en plena década de guerra insurgente, el ayuntamiento de Saltillo manifestó, en sesión del cuatro de septiembre, su preocupación debido a que “el vecindario” estaba padeciendo escasez por “la falta de maíz” (AMS, 1817). Dos años más tarde, dicha corporación proponía la compra del grano en otras poblaciones de la región para evitar hambruna entre los “miserables” (AMS, 1819). Es evidente que las condiciones de vida se habían deteriorado en las primeras dos décadas del siglo XIX. Esto impactó, sin duda, en los discursos en torno a la vagancia y la criminalidad que tuvieron las élites en dicho periodo.

Una década más tarde, las cosas no habían cambiado mucho. Si seguimos revisando el aumento poblacional notamos que, para 1829 Saltillo y la vecina población de San Esteban sumaban 22, 064 habitantes (Alessio, 1979) y, en 1833, la suma ascendía a 28, 357 (AMS, 1833). Es probable que la corta diferencia poblacional entre 1813 y 1829 esté relacionada con la epidemia de 1814, la guerra insurgente y la salida de un buen número de población española de la región luego de la independencia. A partir de esos años todo indica que el crecimiento retomó su ritmo al amparo del nombramiento de

Saltillo como ciudad en 1827 y el cierre de hostilidades con España un par de años después. No obstante, a pesar de la aparente estabilidad política con el exterior, el territorio nacional vivía un periodo de inestabilidad que se reflejaba en el aumento del bandidaje y la vagancia. Ello como resultado, por un lado, a la precarización de la vida y, por el otro, a la falta de estructuras de seguridad que garantizarán el orden social en un país que estaba en plena recomposición política luego de la independencia.

De acuerdo con Esteban L. Portillo, a inicios de la década de 1830, el juez de lo criminal, José María Aguirre, tuvo que ser investido con facultades especiales “para perseguir el vandalismo que asolaba a los pueblos y comarcas circunvecinos de esta capital” (Villarreal, 2002). Entre los arrestos realizados, destacaba el de un famoso bandido conocido como el “Ballo Arriero”, es decir, juzgando por su apodo, el centro de la criminalidad seguía puesto en el asalto de los caminos, particularmente en tiempos de la feria. Este crecimiento de la inseguridad a partir de la década de 1821 nos habla de la fragilidad de un estado en formación. No debemos olvidar, además, que Saltillo y la región seguían siendo un territorio asolado por grupos indígenas que solían robar caballos y cosechas, acciones que se recrudecieron en la década de 1830 (García, 2021; Medina, 2014). Al menos desde 1822 se solían reunir aportaciones de los vecinos acomodados para “la campaña contra los indios bárbaros” (AMS, 1822). Pero hay más: desde 1824, Coahuila, como estado de la federación, quedó unido al territorio de Texas. Ejercer justicia en un espacio que tenía poco más de mil kilómetros, desde su extremo sur a su extremo norte, era apenas una fantasía. Berlandier y Chovell, miembros de la Comisión de Límites, encabezada por Manuel Mier y Terán, entre 1827-1832, se refirieron en estos términos al estado coahuilteño:

El estado de Coahuila y Texas, del cual Saltillo es la capital, cuenta con un inmenso territorio escasamente poblado. El asiento de sus poderes está en el extremo sur, y como ya lo he expuesto, su ubicación es ridícula si se pretende mantener la vigilancia, impartir justicia y fomentar la prosperidad del territorio (Villarreal, 2002).

Cabe señalar que, entre 1821 y 1828, las propias autoridades no tenían claras las medidas que debían tomarse contra los vagos y criminales. Por ejemplo, en febrero de 1821 los capitulares de Saltillo pedían consultar al Comandante General de la provincia para saber “qué castigo se da a los holgazanes mal entretenidos como ladrones, ebrios y otras gentes que tanto perjudican el buen orden y la quietud pública” (AMS, 1821). Lo anterior parece resultado de un vacío legal. La independencia nacional generó cambios en las estructuras de poder y en el corpus legal en que se debía basar el derecho penal. Debido a lo anterior, se tuvo que elaborar una nueva ley para contemplar el caso de la vagancia, se trató de la *Ley del 3 de marzo de 1828 para corregir la vagancia y su reglamento*. Como veremos a continuación, en ella se perciben más continuidades que cambios en relación a la percepción que se tenía de la vagancia en el México virreinal, particularmente en la ordenanza de 1745. Es decir, las élites continuaban considerando, en correspondencia con el pensamiento ilustrado, el utilitarismo y el liberalismo, entonces vigentes, que la vagancia era una práctica común de los grupos marginados que, preferían robar y delinquir antes que trabajar, por lo cual, se les consideraba peligrosos.

Lo más destacado de la ley del 3 de marzo, como han observado diversos autores, fue la creación del tribunal de vagos que debería establecerse en cada capital de partido (Magallanes, 2008). Dicho tribunal estaría conformado por el alcalde primero y dos regidores. En los territorios que no fueran cabecera, los alcaldes deberían detener a los así considerados y enviarlos ante dicho tribunal. Una vez arrestado el sospechoso, se le tomaría su declaración y tendría 3 días para presentar pruebas de su inocencia. Luego del proceso, los sentenciados por vagancia serían remitidos al servicio de las armas, la marina, a realizar tareas de colonización o a casas de corrección. Recibida la sentencia, los interesados tendrían 24 horas para apelar y buscar la revocación o aminoramiento de la sentencia en caso de así considerarse. Ahora bien, en cuanto a los considerados como vagos, la visión seguía siendo muy parecida a la de mediados del siglo XVIII.

Art. 6. Se declara por vagos y viciosos:

Primero. A los que, sin oficio ni beneficio, hacienda o renta, viven sin saber de qué les venga la subsistencia por lícitos y honestos.

Segundo. El que, teniendo algún patrimonio o emolumento, o siendo hijo de familia, no se le conoce otro empleo que el de las casas de juego, compañías mal opinadas, frecuencia de parajes sospechosos, y ninguna demostración de emprender destino en su esfera.

Tercero. El que vigoroso, sano y robusto en edad, y aún con lesión que le impida ejercer un oficio, solo se mantiene de pedir limosna.

Cuarto. El hijo de familia que mal inclinado no sirve en casa y en el pueblo de otra cosa que escandalizar con la poca reverencia u obediencia a sus padres, y con el ejercicio de las malas costumbres, sin propensión o aplicación a la carrera que le ponen (Magallanes, 2008).

La ley de 1828 nos permite demostrar al menos dos aspectos que señalamos en el análisis historiográfico. En primer lugar, desde mediados del siglo XVIII, y hasta finales de la tercera década del XIX, se construyó una visión de la vagancia sobre la ideología elitista del pensamiento ilustrado, el utilitarismo y el liberalismo. Esto implicó una visión distinta del ciudadano a quien se le responsabilizó del principio de utilidad para con la sociedad. No es raro que el ayuntamiento de Saltillo recurra continuamente al discurso de que las medidas tomadas por este y las acciones exigidas a los ciudadanos eran para garantizar el “bien público” y “servicio de la patria”. Por lo tanto, la noción del bien público se construyó como un elemento que exigió la participación de todos los ciudadanos en la construcción del estado nacional. Quienes se eximían de esta responsabilidad incumplían su deber social. Esto da paso a comprobar el siguiente punto que ya mencionamos antes: en este periodo se da una revalorización del trabajo y la condena del ocio. El bando sobre juegos prohibidos, emitido por el virrey Juan Vicente de Güemes Pacheco, en 1805, establecía en su artículo 8:

En conformidad de lo que previenen las leyes 14 y 16 prohíbo que los artesanos y los menestrales de cualesquiera oficios, así maestros como oficiales y aprendices y los jornaleros de todas clases jueguen aunque sean juegos lícitos en días y horas de trabajo: entendiéndose por tales, desde las seis de la mañana hasta las doce del día y desde las dos de la tarde hasta la oración de la noche; y en caso de contravención, si jugaren a juegos prohibidos, incurrirán en sus penas, y si permitidos, en diez días de cárcel por la primera vez veinte por la segunda treinta por la tercera, y un año de destierro si reincidieren (AMS, 1805).

Esta medida complementaba lo estipulado en artículos anteriores en los cuales se establecían castigos para todos aquellos que practicaran juegos prohibidos. Los castigos se asignaban dependiendo de la calidad de las personas. Los castigos más graves eran para aquellos que, además de contravenir el bando, tuvieran fama de vagos. Así lo dictaba el artículo 4:

Si a más de incurrir en estas prohibiciones, se probare que los contraventores fueren vagos o mal entretenidos, sin oficio; y entregados habitualmente al juego o que en él han cometido dolos o fraudes, se les castigará desde la primera vez con la pena de cinco años de presidio y de ocho a los dueños de las Casas en que semejantes torpezas se permitieren (AMS, 1805).

En suma, si volvemos al artículo 8, veremos que el estado virreinal y luego el mexicano, asumieron una postura de condena al ocio que tenía detrás una intención productiva. Coincidimos con Clara Lida y Sonia Pérez quienes señalan que, a inicios del siglo XIX, el pensamiento económico moderno buscó crear ciudadanos industriosos que produjeran excedentes para dinamizar las economías de mercado (Lida y Pérez, 2001). Esta necesidad de hacer cada vez más industriosos a los artesanos y jornaleros era una postura general de las élites occidentales. Se buscaba que no descuidaran su trabajo y eso implicó una persecución de las prácticas de ocio. Por otro lado, quienes estaban sin trabajo eran considerados como vagos y mal entretenidos, o sea, personas peligrosas. Para Saltillo, las élites retomaron los mismos discursos, los cuales se plasmaron en los bandos de policía entre 1830-1835. En dichos documentos que rigieron la vida cotidiana de la población, se condenaron y persiguieron varias prácticas, entre ellas la vagancia. Los bandos de 1830 y 1835 estipularon lo siguiente en su artículo 15, respectivamente:

Artículo 15. Cuidaran los jueces muy estrictamente sobre que la gente vaga y sin alguna ocupación honesta sea empleada en destinos útiles a la sociedad [...] (AMS, 1830).

Artículos 15. Siendo el origen de muchos males la holgazanería y falta de ocupación en mucha parte de los que componen esta sociedad, se previene a los que se hallen en este caso que dentro del término de tres días tomen ocupación o destino que sea honesto y propio para mantenerse [...] (AMS, 1835).

Como puede apreciarse, el discurso fue el mismo, los bandos de la década de 1830 reprodujeron la visión utilitarista al considerar la “holgazanería” como el “origen de muchos males” (AMS, 1835). Esta persecución de la vagancia estuvo relacionada con al menos dos aspectos más que la acompañaron de forma continua: la ebriedad y el juego. En el caso de la ebriedad uno de los aspectos más condenables fue su relación con la holgazanería y la alteración del orden. Todos los bandos mencionados consideraron el tema, casi en los mismos términos. Podemos señalar como ejemplo el artículo 12 del bando de 1835:

Artículo 12. Los ebrios que se encuentren en las calles o tiendas escandalizando o caídos serán llevados a la cárcel por los comisarios (a quienes auxiliaran los cívicos que hacen el servicio como permanentes), y estos darán aviso oportuno a alguno de los jueces para que les aplique la pena de tres días de obras públicas por primera (o nueve reales de multa), y seis por segunda (o seis y ocho reales de multa), agravándoseles la pena en el caso de llegar su exceso a verter palabras obscenas o escandalosas que serán castigados rigurosamente (AMS, 1835).

En cuanto al juego, preocupaban dos aspectos. En primero lugar, la práctica de juegos prohibidos, es decir, aquellos que rallaban en las prácticas ilícitas y donde las apuestas acababan por representar un problema para el orden público. La persecución de esta práctica era todavía mayor cuando estaban involucrados vagos y malhechores. En segundo lugar, estaba el problema de los juegos lícitos. Sobre esta práctica, como mencionamos antes, el problema era que los artesanos y jornaleros descuidaban sus horas de trabajo. Se sumaba a esto el miedo de que los hijos de familia acabaran por enviciarse y convertirse en mal entretenidos o vagos debido a su pasión por el juego. Los bandos de 1830 y 1832 señalaban lo siguiente en esta materia:

Artículo 16. En los billares no se consentirá ningún hijo de familia y a los artesanos y jornaleros solo se les permitirá divertirse de las seis de la tarde a las diez de la noche con el objeto de que en las demás horas del día estén dedicados en los trabajos que ejercen, advirtiéndole a los rayadores o coimes que de no cumplirlo así sufrirán la multa de tres pesos por primera vez que se les pruebe esta falta, seis por segunda y doce por tercera. Los que no puedan soportar la pena pecuniaria se destinarán a obras públicas sufriendo diez días por primera, veinte por segunda y treinta por tercera (AMS, 1830).

Artículo 17. Los coimes o rayadores que permitan en sus billares juegos prohibidos, sufrirán por primera cuatro reales de multa, por segunda ocho y por tercera ocho, y de no tener la pena pecuniaria, tres días de trabajos en obras públicas por primera vez, por segunda seis y por tercera nueve (AMS, 1830).

Artículo 11. Los coimes o ralladores no consentirán que en sus billares juegue un hijo de familia sea cual fuera su clase o condición, que los jornaleros y artesanos jueguen antes de las seis de la tarde, ni pasadas las diez de la noche, que los que entren a divertirse porten arma de ninguna especie, pues en el caso de que la porten no se admitirá que juegue. Que se jueguen prendas ni se paguen de ellas. Que se guarde la consideración debida a las personas según su clase y cuidarán de dar aviso oportuno de las riñas o pependencias suscitadas a causa del juego o cualesquiera otra causa [...] cuidar que allí no las haya, en inteligencia que, si las hay por su descuido, serán responsables de los resultados (AMS, 1832).

Artículos 14. Ningún ciudadano sea quien fuere, consentirá que en su casa o pertenencia halla juegos prohibidos (AMS, 1834).

Como se comprueba por estas citas, y por la referente al bando de 1805, citado arriba, el juego fue una constante preocupación para las élites. Desde la ordenanza de 1745, en su punto tercero, se había estipulado que también se tomaría por vago a quien, “teniendo algún patrimonio o emolumento, o siendo hijo de familia, no se le conoce otro empleo que el de casas de juego” (Magallanes, 2008). En suma, la definición de vagancia estaba ligada al rechazo del trabajo, independientemente de que se tuviera o no una manutención garantizada.

Como bien ha señalado Tania Sagastume, el binomio ocio-trabajo es fundamental para comprender los discursos ilustrados en torno a la vagancia en este periodo (Sagastume, 2001). Podemos decir que, se empieza a normar sobre los cuerpos y sobre la forma en que usan el tiempo las personas. En los bandos de Saltillo, como en los de casi todas las poblaciones de inicios del XIX, todas estas medidas estaban relacionadas, además, con evitar el desorden público. En los bandos de Saltillo, por ejemplo, sobresale la preocupación por el control de los bailes. El bando de 1835 puede servir como ejemplo:

Artículo 31. La diversión de los Bailes ya sea de día o de noche podrá efectuarse con la respectiva licencia de alguno de los alcaldes, quienes la darán por escrito fijando las horas que han concedido, lo que servirá de conocimiento y satisfacción a cualquiera otro juez o ronda quienes no hallando este requisito aprenderán a los autores, dueños de la casa y músicos, y serán presentados a alguno de los jueces quien les impondrán a cada uno una multa que no baje de dos pesos ni exceda de diez (AMS, 1835).

Artículo 32. Se autoriza a los comandantes de ronda para que desbaraten cualesquiera bailes que encuentren en desorden, aunque se allá formando con licencia de alguno juez, dando cuenta al día siguiente al juez que dio la licencia, manifestándole los motivos que tuvo para desbaratarlo (AMS, 1835).

Esta preocupación por los bailes, además de tener como fondo la necesidad de controlar todo tipo de desorden público, estaba relacionada con el intento por controlar a las masas que podían ser peligrosas. Los bandos de 1832 y 1833 son ejemplares:

Artículo 28. Se prohíbe que tocada que sea la queda serán cerrados las puertas de todas las tiendas y tendajos de comercio en igual conformidad, las diversiones de billares y demás puestos de sociedad, recogándose, las gentes que andan por las calles, plaza, y parajes públicos, en el concepto que cualquiera persona sospechosa que se encuentre en ellas después de esta hora se retendrá hasta el día siguiente en que se dé cuenta a la autoridad competente (AMS, 1833b).

Artículo 19. Se prohíbe toda reunión o cuadrillas de gente desordenada que de día o de noche escandalicen perturbando el orden y tranquilidad pública, pues serán castigados los que se hallen en este caso, desde ocho a treinta días de obras públicas. 1834

Sumemos a esto que los bandos de policía castigaban, también, la portación de armas y la distribución de libelos o pasquines sediciosos para comprender el problema en conjunto. Es decir, lo que hubo detrás fue un intento de contención en un periodo en el que las estructuras del estado se vieron rebasadas por la descomposición social de la época y las necesidades apremiantes de una población en crecimiento. La primera reacción fue controlar y coaccionar. En 1835 se pidió, incluso, vigilar a todos los “forasteros desconocidos o sospechosos”, que se alojara en la ciudad, incluso sancionar a quien alojara a algún desconocido y no informara al ayuntamiento (AMS, 1835). Lo que reinaba era el miedo. Miedo a la desintegración nacional, a la guerra, etc. Las cosas no mejoraron. Un año más tarde, Texas, el territorio vecino del norte, inició una guerra que acabó por otorgarle la independencia. Aquello fue el inicio de una serie de conflictos que caracterizarían el periodo centralista iniciado en ese año y que vio surgir varios movimientos de independencia regional. En medio de ese periodo convulso, la represión y la vigilancia se volvieron casi una obsesión de las autoridades.

Otro tópico que por ser extraordinario sobresalió entre las actas de cabildo fue el que relacionaba a la vagancia con la aparición de epidemias. Particularmente ocurrió con la de *cólera morbus* de 1833. El 5 de agosto del mencionado año, nueve días antes de la entrada de dicha enfermedad, el

cabildo de Leona Vicario (Saltillo), en conformidad con el pueblo de Villalongín, elaboró el acuerdo 110 de sus actas capitulares, calificando como, de suma importancia, evitar los males que pudieran traer los forasteros. Dicho acuerdo aludía a que en ambas poblaciones se establecía, continuamente, “porción de gentes desconocidas que eran perjudiciales a la sociedad por no tener ocupación alguna” (AMS, 1833). El citado acuerdo también distinguía el hecho de que “con su introducción puede venir la epidemia”, que entonces ya se encontraba haciendo estragos en la ciudad de Monterrey (AMS, 1833). De tal forma que, la vagancia incluso adquirió el sentido de ser un factor de propagación de enfermedades.

En suma, lo que está de fondo es un discurso que emana de la ideología de la época y de las necesidades de un estado en formación que atraviesa un periodo de inestabilidad política y social de dimensiones nacionales. Los ayuntamientos, encargados del poder local, son, desde 1824 (lo son desde la constitución de Cádiz de 1812) los garantes del orden público. Es por ello que los bandos de policía y las actas de cabildo resumen estas preocupaciones por parte de una élite que, además, se distancia cada vez más de los sectores populares que, en medio de la precarización, echan mano de conductas y prácticas que acabarán siendo una especie de válvula de escape ante las presiones sociales y económicas de estas décadas marcadas por la guerra, el hambre y la enfermedad. Lejos de justificar la criminalidad del periodo, este texto sirve para ayudarnos a comprender que los discursos sobre la vagancia y el crimen deben ser mediados por un análisis profundo de la época, la élite y los imaginarios que los construyen.

## **Conclusiones**

La vagancia fue una problemática social recurrente e irresoluble en Saltillo entre 1810 y 1836. Así lo demostró el discurso generado por las élites locales para definir a la vagancia como una preocupación de interés general. Dicho discurso respondió a las ideas ilustradas y al utilitarismo social plasmadas de la

ordenanza virreinal de 1745 y que permanecieron vigentes durante el régimen decimonónico en el estado de Coahuila y Texas. Como vago se consideró a todo aquel individuo que no tenía una ocupación útil en la población y que, por lo tanto, no abona al “bien común”. Las quejas expuestas en las actas de cabildo y el constante incumplimiento de los bandos de policía y buen gobierno constituyeron la síntesis de aquel discurso que señaló que la vagancia y la ociosidad eran sinónimos de criminalidad en Saltillo. Con la publicación de los bandos de 1784 y 1795, las élites y autoridades locales ya manifestaban una constante preocupación por mantener el control social sobre la población, así como la necesidad de fortalecer una estructura de castigo ante los sectores sociales considerados peligrosos. Así como de aquellos que, teniendo facultades de salud para trabajar, malgastaran su tiempo en el ocio y en vicios como el juego, los bailes y la bebida, todas actividades que atentaban contra el orden público. Más adelante, según observamos en la *Ley del 3 de marzo de 1828* y en los bandos de policía de 1830-1835, estas ideas no hicieron sino darle continuidad del pensamiento ilustrado, al utilitarismo y el liberalismo político y económico.

El control sobre la movilidad de las personas fue una de las medidas establecidas por las autoridades y las élites ante el temor de poner en riesgo la economía fundamentalmente comercial de Saltillo. El flujo de individuos durante los periodos de feria y la época insurgente (1810-1821), produjeron el aumento de la población de Saltillo que casi se triplicó entre 1788 y 1813. Esto recrudeció el control de la seguridad pública ante el temor de que la llegada de forasteros aumentara los índices de criminalidad e incluso propiciara la presencia de enfermedades como ocurrió durante el cólera de 1833.

Las autoridades de Saltillo consideraron a la vagancia como el detonante de la precariedad del estado. Sin embargo, la realidad social reflejada a través de los documentos demostró lo contrario. Las crisis de subsistencia que se resintió desde finales de siglo XVIII y las ocurridas en 1817 y 1819, no fueron sino el resultado del constante ataque de los periodos de sequías que

encarecían los alimentos y otros bienes de primera necesidad. Lo mismo ocurrió con las constantes epidemias y los ataques de los indios bárbaros, sobre todo durante la década de 1830. Dichos fenómenos mermaban periódicamente a la población, especialmente a los sectores de menores recursos, entre estos los labradores, obligándoles así recurrir a prácticas ilícitas o a una vida de mendicidad y vagancia. Frente a estas problemáticas los ayuntamientos se mostraron incapaces de brindar soluciones duraderas. Dentro del discurso utilitarista atribuyeron su origen a la holgazanería como provocadora de muchos males, incluyendo las revueltas independentistas. Finalmente, poner fin a estas problemáticas estructurales fue cada vez más difícil en medio de una realidad política, social y económica cada vez más convulsa.

## Referencias

### Archivo Municipal de Saltillo (AMS)

#### Fondo: Actas de Cabildo (AC)

AMS (1801), AC, Libro (L) 6, fojas (f) 95-96.  
AMS (1802), AC, L6, f. 114-115v.  
AMS (1802b), AC, L6, f. 115v-117v.  
AMS (1804), AC, L6, f. 145-145v.  
AMS (1809), AC, L6, f. 249v-250.  
AMS (1810a), AC, L7, f. v.14-15.  
AMS (1810b), AC, L7, f. 12v-13v.  
AMS (1810c), AC, L7, f. 15v-16.  
AMS (1817), AC, L7, f.82.  
AMS (1821), AC, L 8, f. 72v.  
AMS (1822), AC, L 8, f. 129v.  
AMS (1833), AC, L 11, a 110, f 29

#### Fondo: Presidencia Municipal (PM)

AMS (1784), PM, caja (c) 36, expediente (e) 78.  
AMS (1795), PM, c47, e37, 1f.  
AMS (1805), PM, c56, e26, 6ff  
AMS (1830), PM, C77, E7.

AMS (1832), PM, C77, E7.  
AMS (1833), PM, C78, e25, 7f.  
AMS (1833b), PM, C77, E7.  
AMS (1835), PM, C77, E7.

Calvo, T. (2003). *La plebe según los virreyes de América (siglos XVI-XVIII)*. México: Centro de Estudios de Historia de México, Condumex.

Castillo, J. G. (2022). La conservación del orden público en Xalapa, 1800-1850. *Tiempos modernos*, 45: 235-249.

Canales, P. (2019). Entre Malthus y Darwin. Modelos y ausencia de correlación entre producción alimentaria y crisis demográfica (valle de Toluca, 1654-1815). En C. Cramaussel (ed.), *La incidencia demográfica de crisis de subsistencia, escasez y epidemias* (pp. 109-151), Zamora: El Colegio de Michoacán, Universidad Autónoma del Estado de México.

García, L. (2021). *Frontera armada. Prácticas militares en el noreste histórico, siglos XVII al XIX*. México: Fondo de Cultura Económica.

Gómez, R. M. (1998). Vagos y mendigos en la ciudad de México a fines de la Colonia. *Iztapalapa*. 44: 135-158.

González, J. G. (2018). Consecuencias demográficas de las epidemias en la Parroquia de Santa María de las Parras (1762-1815). *Letras Históricas*. 19: 79-98.

González, J. G. (2020). Causas de muerte en el sur de la Provincia de Coahuila a principios del siglo XIX. En C. Cramaussel y T. Dimas (coords.), *Causas de muerte. Aportes metodológicos a partir de fuentes preestadísticas y médicas* (pp. 87-106). Zamora: El Colegio de Michoacán.

Guerra, F. (1993). *Modernidad e independencia. Ensayos sobre las revoluciones hispánicas*. México: Fondo de Cultura Económica, Editorial Mapfre.

Hobsbawm, E. (2001). *Bandidos*. Barcelona: Ed. Crítica.

Irurozqui, M. (1996). Ebrios, vagos y analfabetos. El sufragio restringido en Bolivia, 1826-1952. *Revista de Indias*, 208: 697-742.

Hamnett, B. (1991) Absolutismo ilustrado y crisis multidimensional en el periodo colonial tardío, 1760-1808. En J. Vázquez, *Interpretaciones del siglo XVIII mexicano. El impacto de las reformas borbónicas* (pp. 67-108). México: Ed. Nueva Imagen.

Lida, C. E. & Pérez, S. (2001). *Trabajo, ocio y coacción. Trabajadores urbanos en México y Guatemala en el siglo XIX*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, Miguel Ángel Porrúa.

Magallanes, M. (2008). *Sin oficio, beneficio ni destino. Los vagos y los pobres en Zacatecas, 1768-1862*. Zacatecas: Instituto Zacatecano de Cultura, Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Medina, L. (2014). *Los bárbaros del norte. Guardia nacional y política en Nuevo León, siglo XIX*. México: Fondo de Cultura Económica.

Morán, R. (2016). José de Gálvez. Rasgos americanistas de su círculo Ilustrado: Campomanes y Jovellanos. *TSN*. 2: 23-30.

Murillo, F. (2022). El Utilitarismo Clásico de Jeremy Bentham: Una discusión y revisión historiográfica alrededor del utilitarismo, su oposición a la filosofía de los derechos naturales y su postura frente a la redistribución de la riqueza. *Praxis Filosófica*. 55: 169-188.

Olveda, J. (2012). *La Constitución de Cádiz, facsímil de la Constitución política de la monarquía española, promulgada en Cádiz a 19 de marzo de 1812*. Zamora: El Colegio de Michoacán.

Pérez, S. (1996). *Los hijos del trabajo. Los artesanos de la ciudad de México. 1780-1853*. México: Universidad Autónoma Metropolitana, El Colegio de México.

Pérez, S. (1993). Los vagos en la ciudad de México y el tribunal de vagos en la primera mitad del siglo XIX. En A. Tortolero (coord.), *Estudios históricos I* (pp. 137-153). México: Universidad Autónoma Metropolitana, El Colegio de México.

Pesina, J. A. (2021). *Vagancia y ociosidad en Tamaulipas (1825-1857)*. San Luis: El Colegio de San Luis.

Rodríguez, M. (2010) *Coahuila, Historia Breve*. México: Fideicomiso Historia de las Américas, El Colegio de México, Fondo de Cultura Económica.

Sacristán, C. (1994). El pensamiento ilustrado ante los grupos marginados de la ciudad de México, 1767-1824. En R. Hernández (comp.) *La ciudad de México en la primera mitad del siglo XIX*. II (pp. 187-249). *Gobierno y política/Sociedad y cultura*. México: Instituto de Investigaciones doctor José María Luis Mora.

Sagastume, T. (2001). De la ilustración al liberalismo. Los discursos sobre los gremios, el trabajo y la vagancia en Guatemala. En C. Lida y S. Pérez (comps.), *Trabajo, ocio y coacción. Trabajadores urbanos en México y Guatemala en el siglo XIX* (pp. 19-65). México: Universidad Autónoma Metropolitana, Miguel Ángel Porrúa.

Scott, J. C. (2004). *Los dominados y el arte de la resistencia. Discursos ocultos*. México: Ed. Era.

Valdés, C. (2002). *Sociedad y delincuencia en el Saltillo colonial*. Saltillo: Archivo Municipal de Saltillo.

Valdés, C. (2017). *Historias de protección y depredación de los recursos naturales en el valle de Saltillo y la sierra de Zapalinamé*. Saltillo: Universidad Autónoma de Coahuila.

Villarreal, X. (2002). *Los ojos ajenos. Viajeros en Saltillo (1603-1910)*. Saltillo: Ayuntamiento de Saltillo.

Warren, R. (1996). Entre la participación política y el control social, la vagancia, las clases pobres de la ciudad de México y la transición desde la colonia hacia el Estado nacional. *Historia y Grafía*. 6: 37-54.

**Descripción de los ansiógenos educativos y elementos  
inhibidores del desempeño académico de alumnos de  
Secundaria**

**Description of the educational anxiety and inhibitory  
elements of the academic performance of secondary school  
students**

Edgar Aguirre Sifuentes<sup>1</sup>  
José María Guajardo Espinoza<sup>1</sup>  
María Teresa Rivera Morales<sup>1</sup>  
Dra. Blanca de la Luz Fernández Heredia<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Psicología Unidad Saltillo de la Universidad Autónoma de Coahuila  
Blvd. V. Carranza s/n, Col. República Oriente C.P.25280 Saltillo, Coahuila México  
<sup>2</sup>Facultad de Psicología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.  
C. de Santiago Tapia 403, Centro, 58000 Morelia, Mich.

Autor de correspondencia

María Teresa Rivera Morales, correo electrónico: [teresa.rivera@uadec.edu.mx](mailto:teresa.rivera@uadec.edu.mx)  
<https://orcid.org/0000-0002-8660-9786> Cel. 8441382227

### **Resumen**

El objetivo del estudio es describir los ansiógenos educativos y elementos inhibidores del desempeño académico de alumnos de Secundarias federalizadas de Saltillo Coahuila, México.

Los datos presentados corresponden a un estudio, apoyado por el Fondo para la Investigación Científica y Tecnológica (FONCYT). Se utilizó un estudio empírico exploratorio de corte cuantitativo, de diseño descriptivo y correlacional. La muestra fue estratificada y estuvo conformada por un total de 1984 estudiantes a los que se les aplicó una prueba para observar la ansiogenia educativa y el desempeño escolar entre los alumnos. Se concluye que los factores generadores de ansiedad educativa en estudiantes de secundaria están intrínsecamente ligados a la accesibilidad tecnológica para el aprendizaje, la disponibilidad de apoyo por parte de los docentes y la gestión de las tareas académicas. Por otro lado, los inhibidores del desempeño académico identificados, como el aburrimiento, la falta de motivación, la frustración, las dificultades de concentración y el uso excesivo de redes sociales, subrayan la importancia de abordar la dimensión psicológica y emocional de la educación secundaria.

Palabras clave: alumnos, ansiógenos, inhibidores del desempeño, secundaria.

### **Abstract**

The objective of the study is to describe the educational anxiety and inhibitory elements of the academic performance of federalized high school students in Saltillo, Coahuila.

The data presented corresponds to a study, supported by the Fund for Scientific and Technological Research (FONCYT). An exploratory empirical study of a quantitative nature, with a descriptive and correlational design, was used. The sample was stratified and consisted of a total of 1984 students to whom a test was applied to observe educational anxiety and school performance among students. It is concluded that the factors that generate educational anxiety in high school students

are intrinsically linked to technological accessibility for learning, the availability of support from teachers and the management of academic tasks. On the other hand, the inhibitors of academic performance identified, such as boredom, lack of motivation, frustration, concentration difficulties and excessive use of social networks, underscore the importance of addressing the psychological and emotional dimension of secondary education.

Keywords: students, anxiety, performance inhibitors, high school.

### **Introducción**

La ansiedad educativa y el desempeño académico de los alumnos de secundaria es un tema de creciente interés en el campo de la psicología y la educación. A medida que los sistemas educativos se vuelven más competitivos y orientados hacia los logros, los estudiantes pueden enfrentar una presión significativa para sobresalir en sus estudios.

En el caso preciso de la etapa de secundaria, los adolescentes están en un período de desarrollo crucial, caracterizado por la búsqueda de identidad, la exploración de intereses y la preparación para la vida adulta. Durante este tiempo, las demandas académicas pueden intensificarse, lo que puede aumentar los niveles de ansiedad educativa y por ende los factores inhibidores del desempeño académico.

Según Balseca & Noroña (2022), la ansiedad educativa es un fenómeno complejo y multifacético que puede afectar mucho al desempeño académico de los estudiantes de secundaria. Estos sentimientos pueden actuar como inhibidores del desempeño académico al generar un estado mental de estrés constante, lo que a su vez puede dificultar la concentración, el procesamiento de información y la retención del material de estudio (Siari & Armenta 2022).

Reyes y de Portugal (2019) definen la ansiedad como una respuesta común y adaptativa ante eventos evaluados como amenazantes o que representen un peligro, asimismo, Herskovic & Matamala (2020) proponen una definición desde la emotividad, como una sensación de finalidad adaptativa que al expresarse de

manera desregulada puede generar malestar y/o desencadenar en un trastorno ulteriormente. En contextos educativos, la ansiedad es una manifestación motora, cognitiva y fisiológica que el individuo emite ante situaciones escolares amenazantes, ambiguas o peligrosas (García- Fernández y col., 2008). Por ende, la ansiedad educativa se refiere a los sentimientos de nerviosismo, preocupación y estrés que experimentan los estudiantes en relación con sus tareas escolares, evaluaciones y rendimiento académico.

Este tipo de ansiedad puede surgir de diversas fuentes o ansiógenos como lo son condiciones sociodemográficas y personales, como diagnósticos previos, funcionalidad familiar, factores genéticos, relaciones interpersonales y posición económica/ingresos, así como ciertas condiciones propias del ambiente escolar (Balseca & Noroña, 2022; González & Pérez, 2015; Rodríguez y col., 2021). Incluso puede ser detonada por altas expectativas de rendimiento académico, presión social y temores relacionados con el fracaso (Schoeps et al 2019).

Morales-Mota y col. (2021) precisa en su estudio que el detonante de la ansiedad radica en el uso inadecuado de internet, redes sociales o adicción a dispositivos móviles.

Por otro lado, hablar de los inhibidores del desempeño es enlistar obstáculos y desafíos que pueden afectar negativamente el rendimiento académico y el desarrollo integral de los estudiantes. Estos inhibidores, que van más allá de las dificultades inherentes al aprendizaje, pueden manifestarse de diversas formas y tener un impacto significativo en el progreso educativo de los adolescentes.

Stelzer & Cervigini (2011) mencionan que uno de los principales inhibidores del desempeño en la secundaria es la ansiedad educativa. A medida que los estudiantes enfrentan un aumento en la carga académica y la presión por alcanzar altos estándares de logro, es común que experimenten niveles elevados de ansiedad relacionada con los exámenes, las evaluaciones y las expectativas de sus profesores y padres. Esta ansiedad puede generar una sensación de parálisis y duda en los estudiantes, obstaculizando su capacidad para concentrarse, procesar

información y demostrar su verdadero potencial. La constante preocupación por el rendimiento puede socavar la autoestima y la confianza, lo que a su vez afecta negativamente el desempeño académico.

Por otro lado, Pendones y col. (2021) concluyen en su investigación que la falta de motivación intrínseca es un inhibidor del desempeño en secundaria, que a medida que los adolescentes luchan por encontrar relevancia y significado en su aprendizaje, la falta de interés genuino en los temas escolares puede conducir a la apatía y la desconexión.

Salazar & Heredia (2011) describen que la falta de habilidades de organización y gestión del tiempo también puede convertirse en un inhibidor del desempeño en la secundaria. Incluso mencionan que a medida que los estudiantes se enfrentan a múltiples asignaciones, proyectos y responsabilidades extracurriculares, la incapacidad para planificar eficazmente su tiempo puede llevar a la acumulación de trabajo y al estrés innecesario. La falta de estructura puede afectar la calidad de los trabajos entregados y limitar la capacidad de los estudiantes para cumplir con sus compromisos académicos de manera exitosa.

Por otro lado, Lastre y col. (2020) y De Miguel (2001) concluyen que el clima familiar puede afectar el desempeño de los estudiantes de secundaria.

De esta forma, el objetivo del presente manuscrito es describir los ansiógenos educativos y los elementos inhibidores del desempeño académico de alumnos de Secundarias federalizadas de Saltillo Coahuila.

## **Materiales y Métodos**

El presente estudio es predominantemente cuantitativo, empírico, sincrónico y transversal; con un muestreo probabilístico por conglomerados con punto fijo en las secciones de los grados de estudio de las escuelas secundarias observadas.

### **Participantes**

Las unidades de observación son 1984 estudiantes de ambos sexos de las escuelas secundarias federalizadas de la ciudad de Saltillo Coahuila, México; los

cuales cursan los grados de primero, segundo y tercer año; en las zonas escolares 101, 102, 103, 104, 105 y 107; en las escuelas secundarias de Adolfo López Mateos, Apolonio M. Avilés, Benemérito de las Américas, Constantino de Tarnava, Dora Madero, Ejercito Mexicano, Félix Neira Barragán, Javier Luis Cabello Siller, Jesús Eloy Dewey Castilla, Jesús Perales Galicia, José Vasconcelos, Nazario S. Ortiz Garza, Otilio González, Presidente Francisco I. Madero, Prof. Higinio González Calderón, Ricardo Flores Magón, Sección 5 Profa. Elba Esther Gordillo Morales, Sección v, Secundaria de Nueva creación, Silvia Elena Morales Villarreal y la escuela Venustiano Carranza de ambos sexos.

#### Instrumentos

El cuestionario estuvo conformado por: un aparado de datos demográficos en los que se les preguntó por el sexo y con quién vive, la escala Ansiogenia educativa y el cuestionario de iinhibidoras y potenciadores del desempeño escolar.

#### Escala de Ansiogenia educativa.

Esta escala mide la ansiedad educativa inducida por las situaciones en las relaciones de los alumnos con su entorno educativo que consta de 15 reactivos, los cuales están integrados es cuatro categorías; en cuales se responden con una escala tipo Likert con la forma de Muy en desacuerdo, En desacuerdo, Ni de acuerdo ni en desacuerdo, De acuerdo y Totalmente de acuerdo para responder a todas las afirmaciones.

#### Cuestionario de inhibidoras y potenciadores del desempeño escolar.

Mide los elementos inhibidores del desempeño escolar, consta de seis variables complejas y 35 variables simples en su fase exploratoria. Los componentes principales que conforman esta prueba y están involucrados en el nivel de desempeño que los alumnos tienen en su ambiente escolar son: Éxito escolar, Salud psicológica, Contexto de relaciones, Depresión escolar, Sustancias psicoactivas y Bienestar; con la misma escala.

El cuestionario en su conjunto fue válido con la misma muestra y obtuvo un coeficiente Alpha general de Cronbach de .73

### **Procesamiento**

Los procesamientos usados para describir a los alumnos de las escuelas secundarias federalizadas de Saltillo Coahuila es la caracterización por análisis de medias; con la que se muestran los alumnos de las escuelas secundarias federalizadas de Saltillo Coahuila en un tiempo y un espacio determinado al momento de la observación.

El análisis de medias consiste en agrupar los atributos simples que corresponden a una variable compleja, la conducta de Receptor, Emisor, Observador circundante; las variables complejas de los ejes de desarrollo de este trabajo. La lectura se expone destacando los atributos que se encuentran por encima y los que se encuentran por debajo de los regulares (la porción del medio).

Se obtiene la media de las medias de cada atributo, así como su desviación estándar. Se calculan los límites superiores (N+) e inferior (N-) de las medias sumándole y restándole una desviación estándar (DS de las medias) a la media de medias. Después, se delimita visualmente las tres porciones, lo que indica la ubicación de cada media por encima de los regulares, lo regular y lo inferior a lo regular de los atributos de una población en un momento conocido.

### **Resultados**

En este apartado se exponen la evidencia en forma de tablas y narrativa de la caracterización de cada uno de los atributos categorizadores tomados en cuenta para el análisis.

Tabla 1  
*Caracterización de Ansiógenos educativos*

Ansiógenos educativos	N	Media	DS	Sesgo	Curtosis
Acceso a la tecnología para aprender*	1954	1.793	1.380	0.241	-1.199
Mis Profesores generalmente están indispuerto para atenderme*	1964	1.428	1.510	0.572	-1.204
Entregar un trabajo*	1957	1.350	1.292	0.673	-0.652
Mis Profesores no aclaran dudas.	1948	1.259	1.394	0.844	-0.618
Mis Profesores tienen escasa habilidad para enseñar.	1942	1.075	1.415	1.033	-0.397
Mis Profesores se distraen fácilmente.	1970	0.947	0.903	0.961	0.867
Me estresan las Relacionarse con los compañeros.	1967	0.914	1.174	1.207	0.480
Me estresan las Relacionarse con los maestros.	1965	0.846	1.138	1.329	0.893
Medios para enseñar	1973	0.754	1.141	1.526	1.355
Me estresa el Espacio físico de clase, es inapropiado.	1966	0.694	1.052	1.607	1.869
Me estresa el Espacio virtual de clase, es inapropiado.	1974	0.665	1.100	1.765	2.254
Mis Profesores son intimidantes.	1967	0.662	0.992	1.579	1.912
Mis Profesores son agresivos.	1971	0.628	0.862	1.380	1.541
Mis Profesores tienen poco conocimiento sobre la materia*	1964	0.459	1.005	2.480	5.393
Mis Profesores son ofensivo (insultan)*	1955	0.399	0.798	2.367	5.801

N= Número de observaciones. DS= Desviación estándar.  
 Fuente: elaboración propia.

**Tabla 2**  
***Caracterización de Ansiógenos educativos***

Media de medias	0.92
DS de las medias	0.39
N+	1.31
N-	0.53
CV	42.16

Fuente: elaboración propia.

N+ = Límite superior (Media de medias más DS de medias)

N- = Límite inferior (Media de medias menos DS de medias)

De acuerdo a la tabla 1 y 2 de la caracterización de ansiógenos educativos de los alumnos de las secundarias federalizadas de Saltillo, se puede observar que los atributos que tienen más presentes es el acceso a la tecnología para aprender, la falta de disposición de los profesores para atenderlos, la entrega de trabajos.

En menor medida, los alumnos se caracterizan por presentar como factor de ansiedad el conocimiento sobre la materia que tiene el profesor y si este es ofensivo.

**Tabla 3**  
*Caracterización de Inhibidores del Desempeño*

<b>Inhibidores del Desempeño</b>	<b>N</b>	<b>Media</b>	<b>DS</b>	<b>Sesgo</b>	<b>Curtosis</b>
Cambios de humor*	1964	2.121	1.432	-0.011	-1.376
Aburrimiento*	1970	1.957	1.205	0.219	-0.987
Motivación para los estudios*	1957	1.913	1.485	0.064	-1.417
Frustración*	1956	1.854	1.438	0.218	-1.295
Problemas de concentración*	1963	1.852	1.446	0.224	-1.319
Redes sociales*	1957	1.808	1.505	0.212	-1.403
Capacidad para los estudios	1953	1.739	1.403	0.209	-1.267
Amigos	1953	1.724	1.605	0.326	-1.499
Dificultad para levantarse de la cama	1961	1.719	1.433	0.367	-1.222
Distracción por dispositivo en horas de sueño	1967	1.701	1.457	0.362	-1.266
Cambio de apetito	1966	1.684	1.420	0.360	-1.184
Compartir momentos	1955	1.680	1.551	0.338	-1.412
Inteligencia	1948	1.650	1.360	0.268	-1.186
Aptitud para los estudios	1930	1.624	1.390	0.363	-1.154
Ejercicio físico	1965	1.599	1.464	0.405	-1.243
Realidad de tu escuela	1959	1.595	1.430	0.397	-1.186
Habilidades	1953	1.593	1.437	0.393	-1.197
Comida saludable	1962	1.568	1.409	0.358	-1.197
Pérdida de interés	1964	1.546	1.440	0.514	-1.101
Realidad de tu escuela (cómo está el vecindario)	1956	1.482	1.407	0.486	-1.088
Insomnio	1955	1.434	1.500	0.582	-1.152
Trastornos del sueño	1971	1.427	1.499	0.602	-1.126
Actividades sociales presenciales	1959	1.387	1.349	0.630	-0.818
Platicar cosas íntimas con alguien de confianza	1964	1.330	1.434	0.739	-0.852
Rasgos de enseñanza de los profesores	1942	1.299	1.357	0.733	-0.717
Aislamiento de situaciones que se disfrutaban	1954	1.291	1.361	0.738	-0.718
Relación con los profesores	1953	1.269	1.352	0.739	-0.709
Aislamiento	1961	1.185	1.319	0.881	-0.424

Actividades de autocuidado	1960	1.183	1.234	0.885	-0.176
Incremento o baja de peso	1965	1.182	1.368	0.881	-0.534
Incapacidad para realizar actividades*	1956	1.025	1.248	1.057	-0.010
Pensamiento recurrente sobre hacerse daño*	1963	0.936	1.362	1.230	0.075
Pensamiento recurrente sobre la muerte*	1961	0.928	1.354	1.250	0.154
Consumo de Alcohol*	1954	0.479	1.137	2.373	4.225
Consumo de Drogas*	1943	0.440	1.136	2.505	4.720

N= Número de observaciones. DS= Desviación estándar.

Fuente: elaboración propia

Fuente: elaboración propia.

**Tabla 4**  
*Caracterización de Inhibidores del Desempeño*

Media de medias	1.46
DS de las medias	0.38
N+	1.84
N-	1.08
CV	26.01

N+ = Límite superior (Media de medias más DS de medias)

N- = Límite inferior (Media de medias menos DS de medias)

Los alumnos de secundaria consideran los cambios de humor, el aburrimiento, la motivación frente a los estudios, la frustración, los problemas de concentración y el uso de redes sociales. como inhibidoras.

Por otro lado, los que consideran en menor medida como factores que imposibiliten su desempeño académico la incapacidad para realizar actividades, el tener pensamientos recurrentes sobre hacerse daño o sobre la muerte, así como el consumo de alcohol y drogas.

## Conclusiones y Discusión

La ansiedad educativa se manifiesta como un fenómeno complejo y multifacético que puede tener un impacto significativo convirtiéndose en un factor que inhibe el desempeño académico de los estudiantes de secundaria.

Este tipo de ansiedad puede surgir de diversas fuentes, como lo son condiciones sociodemográficas y personales, funcionalidad familiar, factores genéticos, relaciones interpersonales y posición económica/ingresos, así como ciertas condiciones propias del ambiente escolar (Balseca & Noroña, 2022; González & Pérez, 2015; Rodríguez y col., 2021). Incluso puede ser detonada por altas expectativas de rendimiento académico, presión social y temores relacionados con el fracaso (Schoeps y col., 2019).

Sin embargo y de acuerdo con los resultados obtenidos los factores que detonan la ansiedad en espacios educativos se centran principalmente con condiciones del ámbito escolar como lo es el acceso a la tecnología para aprender, la entrega de un trabajo y la atención que le deja de prestar el profesor; factores que incluso distan de lo mencionado por Morales-Mota y col. (2021) quienes mencionan que el detonante de la ansiedad educativa radica en el uso inadecuado de internet, redes sociales o adicción a dispositivos móviles.

Por otro lado, y precisando en los inhibidoras del aprendizaje los resultados muestran que los factores personales propios a la edad como el cambio de humor, aburrimiento, frustración y problemas de concentración son las principales causas; lo cual difiere a lo expresado por Salazar & Heredia (2011) quienes mencionan que son la falta de habilidades de organización y gestión del tiempo las principales causas y de lo expresado por (2020) y De Miguel (2001) quienes concluyen que el clima familiar es la principal causa.

No obstante, se concuerda con lo expresado por Pendones y col. (2021), quien concluye que es la falta de motivación un inhibidor del desempeño en secundaria ya que a medida que los adolescentes luchan por encontrar relevancia y significado en su aprendizaje, la falta de interés genuino en los temas escolares puede conducir a la apatía y la desconexión.

## Referencias

- Balseca, M., & Noroña, D. (2022). Factores de riesgo e impacto psicológico en adolescentes de alta vulnerabilidad, durante confinamiento por COVID-19. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 2: 135. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.56294/saludcyt2022135> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- De Miguel, C. R. (2001). Factores familiares vinculados al bajo rendimiento. *Revista complutense de educación*, 12(1): 81.
- García-Fernández, J. M., Martínez-Monteagudo, M. C., & Inglés Saura, C. J. (2013). ¿Cómo se relaciona la ansiedad escolar con el rendimiento académico? *Revista Iberoamericana de Psicología y Salud*, 4: 63–76. [En línea]. Disponible: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=245126428003> Fecha de consulta: 21 de julio de 2023
- González, L., & Pérez, V. (2015). Factores Ansiógenos en la Escuela y una Vía de Solución: una mirada desde los alumnos y sus profesores. *Cadernos de Pesquisa*, 22(3): 14. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.18764/2178-2229.v22.n3.p.14-24> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Herskovic, V., & Matamala, M. (2020). Somatización, ansiedad y depresión en niños y adolescentes. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 31(2): 183–187. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2020.01.006> Fecha de consulta: 21 de julio de 2023
- Morales-Mota, S., Meza-Marín, R. N., & Rojas-Solís, J. L. (2021). Estrés académico en estudiantes mexicanos de nivel medio superior durante el confinamiento por COVID-19. *Dilemas Contemporáneos: Educación, Política y Valores*. 48(2): 1-21. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.46377/dilemas.v9i.2955> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023

- Lastre, K., Salcedo, O. & Segovia, E. (2020). Incidencia de la disfuncionalidad familiar en el desempeño académico de estudiantes de Secundaria. *Revista Espacios* 41 (20): 130-140. [En línea]. Disponible: <https://www.revistaespacios.com/a20v41n20/20412011.html> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Pendones, J., Flores, Y., Espino, G., & Durán, F. (2021). Autoconcepto, autoestima, motivación y su influencia en el desempeño académico. Caso: alumnos de la carrera de Contador Público. *RIDE Revista Iberoamericana Para La Investigación y El Desarrollo Educativo*, 12(23): 1. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1008> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Reyes, R., & de Portugal, E. (2019). Trastornos de ansiedad. *Medicine - Programa de Formación Médica Continuada Acreditado*, 12(84): 4911–4917. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.med.2019.07.001> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Rodríguez, N., Padilla, L., Jarro, I., Suárez, B., & Robles, M. (2021). Factores de riesgo asociados a depresión y ansiedad por covid-19 (SARS-Cov-2). *Journal of America Health*, 4(1): 63–71. En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.37958/jah.v4i1.64> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Salazar, I., & Heredia, Y. (2019). Estrategias de aprendizaje y desempeño académico en estudiantes de Medicina. *Educación Médica*, 20(4): 256–262. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.1016/j.edumed.2018.12.005> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023
- Schoeps, K., Tamarit, A., González, R., & Montoya, I. (2019). Competencias emocionales y autoestima en la adolescencia: impacto sobre el ajuste psicológico. *Revista de Psicología Clínica Con Niños y Adolescentes*, 6(1): 51–56. [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.21134/rpcna.2019.06.1.7> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023

Siari, C., & Armenta, L. (2022). La ansiedad en el rendimiento escolar del estudiante de secundaria en matemáticas. *Revista de Investigación Académica Sin Frontera: División de Ciencias Económicas y Sociales*, 38:1-29. <https://doi.org/10.46589/rdiasf.vi38.493>

Stelzer, F. & Cervigini, M. (2011) Desempeño académico y funciones ejecutivas en infancia y adolescencia. Una revisión de la literatura, *Revista de Investigación en Educación*, 9 (1): 148-156. [En línea]. Disponible: <http://webs.uvigo.es/reined/> Fecha de consulta: 20 de julio de 2023

## **Revisión sobre la producción, usos y revalorización de escorias**

### ***Review of the production, uses and revaluation of slag***

Danay Alexandra Charles<sup>1\*</sup>, Adrián Amilcare González-Ibarra<sup>1</sup>, Gloria Ivone Dávila-Pulido<sup>1</sup>, Armando Salinas-Rodríguez<sup>2</sup>, Blanca Rosa González-Bonilla<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Escuela Superior de Ingeniería, Universidad Autónoma de Coahuila, Boulevard Adolfo López Mateos s/n. Nueva Rosita, Coahuila, México, C. P. 26800.

<sup>2</sup>CINVESTAV Unidad Saltillo, Avenida Industria Metalúrgica #1062, Parque Industrial Saltillo-Ramos Arizpe, Ramos Arizpe, Coahuila, México, C. P. 25900.

\*E-mail: [d\\_charles@uadec.edu.mx](mailto:d_charles@uadec.edu.mx), (0000-0003-3016-6338)

## Resumen

Los residuos sólidos de los procesos pirometalúrgicos conocidos como “escorias” son de naturaleza y características muy variadas; sus características dependen de su origen (materia prima de la que provienen), composición química y propiedades físicas. Asimismo, las escorias son de gran interés debido a las restricciones medioambientales actuales y a las aplicaciones emergentes, resultado de la necesidad de ser más competitivos sin comprometer al entorno.

De acuerdo con la bibliografía las escorias contienen elementos o compuestos de valor comercial, principalmente metales básicos y preciosos. El uso más común es como material para la construcción de caminos, pero también se ha reportado su uso como materia prima en la producción de cemento Portland, reemplazando parcialmente el Clinker.

Las escorias también se utilizan comúnmente como abrasivos en la limpieza de superficies. Además, éstas se utilizan como material de relleno para la estabilización de suelos (previa aglomeración), así como en la producción de materiales para la construcción como bloques de concreto y ladrillos.

Otra razón por la que las escorias han adquirido interés es por su contenido de metales como el cobre, oro, plata, níquel, manganeso, zinc y cobalto. Dicho lo anterior, es necesario plantear alternativas para la revalorización de escorias, ya sea mediante su uso por otra industria o mediante la extracción de los valores metálicos que contiene. Para lograrlo se deben implementar procesos de reducción de tamaño, aglomeración, concentración y/o extracción de metales.

La finalidad de esta revisión es brindar información para elucidar aspectos teóricos esenciales durante el procesamiento metalúrgico de escorias. Por lo que se abordan aspectos generales y se considera la implementación de la cianuración como una alternativa viable de revalorización de escorias. Además, se presentan algunos de los desafíos en la extracción de metales preciosos a partir de estos residuos, así

como el impacto medioambiental que el procesamiento puede generar. Se concluye que la extracción de metales preciosos a partir de residuos como las escorias es compleja, ya que se requiere una comprensión a fondo de las reacciones químicas y de la naturaleza física y química del residuo, sin embargo, es una etapa clave para transitar a una economía circular.

**Palabras claves:** Metales preciosos, Escoria, Residuo, Medioambiente.

### **Abstract**

The solid waste from pyrometallurgical processes known as “slag” is of very varied nature and characteristics; Their characteristics depend on their origin (raw material from which they come), chemical composition and physical properties. Likewise, slags are of great interest due to current environmental restrictions and emerging applications, a result of the need to be more competitive without compromising the environment.

According to the literature, slag contains elements or compounds of commercial value, mainly base and precious metals. The most common use is as a material for road construction, but its use as a raw material in the production of Portland cement has also been reported, partially replacing Clinker.

Slags are also commonly used as abrasives in surface cleaning. In addition, they are used as filler material for soil stabilization (after agglomeration), as well as in the production of construction materials such as concrete blocks and bricks.

Another reason why slags have gained interest is because of their content of metals such as copper, gold, silver, nickel, manganese, zinc, and cobalt. Having said the above, it is necessary to propose alternatives for the revaluation of slag, either through its use by another industry or through the extraction of the metallic values it

contains. To achieve this, processes of size reduction, agglomeration, concentration and/or metal extraction must be implemented.

The purpose of this review is to provide information to elucidate essential theoretical aspects during metallurgical processing of slags. Therefore, general aspects are addressed, and the implementation of cyanidation is considered as a viable alternative for slag revaluation. In addition, some of the challenges in extracting precious metals from these wastes are presented, as well as the environmental impact that processing can generate. It is concluded that the extraction of precious metals from waste such as slag is complex, since a thorough understanding of the chemical reactions and the physical and chemical nature of the waste is required, however, it is a key stage to move to a circular economy.

**Key words:** Precious metals, Slag, Residue, Environment.

## Introducción

La demanda de metales preciosos ha generado un incremento en los proyectos de exploración que incluyen yacimientos de baja ley y, como consecuencia, la implementación de nuevas tecnologías que conducen a la eficiencia productiva. Dependiendo de las características físicas y químicas del yacimiento se aplican diferentes métodos de procesamiento. Por lo regular, los minerales se someten a procesos a reducción de tamaño y se tratan metalúrgicamente en función de sus características inherentes (Reith y col., 2012). Además de los yacimientos de minerales metálicos, otros residuos de la industria minero-metalúrgica, particularmente las escorias, también pueden ser considerados como fuentes viables de metales.

La recuperación de metales valiosos a partir de los residuos de procesos metalúrgicos es complicada, sobre todo si los elementos de interés se encuentran

presentes en concentraciones muy bajas y formando especies complejas (Rai y col., 2021). Incluso, para algunos tipos de residuos minero-metalúrgicos no se tiene la certeza de la forma en la que se encuentran los elementos de valor económico. Por ello es importante desarrollar procesos de recuperación selectivos/específicos para cada tipo de residuo. Además, los procesos propuestos deben conseguir que los elementos no deseados (especies por las que no hay un interés económico) permanezcan en el residuo formando especies termodinámicamente estables (Kinnunen y col., 2022).

Diversos investigadores han emprendido estudios con el objetivo de proponer nuevos usos para los diferentes tipos de escorias de los procesos pirometalúrgicos. En el caso de la industria siderúrgica, las escorias producidas durante la fabricación de acero se reciclan en diversos procesos industriales o se utilizan en la fabricación de cemento Portland o materiales cerámicos (Panesar, 2019).

En menor medida, las escorias de los procesos pirometalúrgicos del cobre también se usan en el sector de la construcción o se procesan para obtener los metales que pueden contener, principalmente cobre (Acosta y col., 2001; Muller y col., 2002; Mills y col., 2011; Kanari y col., 1999; Shi y col., 2008). Se estima que por cada tonelada de cobre producido se producen 2.2 toneladas de escoria, estos son números relevantes para los principales productores de cobre mediante procesos pirometalúrgicos como Chile (Sánchez y col., 2004). Son pocos los estudios orientados a recuperar los metales preciosos a partir de estos materiales, aunque para el sector minero pequeño y mediano puede ser de gran interés comercial (Gamboa-Hernández y col., 2018).

La cianuración es uno de los procesos más utilizados para extraer oro y plata a partir de sus minerales y también es el más conocido en términos cinéticos y termodinámicos (González-Ibarra y col., 2016). Cuando se implementan adecuadamente los procesos de destrucción de cianuro se logra nulificar el riesgo

medioambiental y esto convierte al proceso de cianuración en uno de los más confiables. La industria minera de los metales preciosos utiliza aproximadamente 18% de la producción mundial de cianuro para extraer oro y plata de los minerales que los contiene (Bas y col., 2017). Dicho lo anterior, evaluar la extracción de los metales preciosos contenidos en escorias de procesos metalúrgicos mediante cianuración resultaría lógico como una primera etapa, pero para esto se requiere de una revisión amplia de las características físicas y químicas de las escorias y de los procesos mediante los cuales se obtienen.

En esta revisión se aborda la generación, clasificación, principales usos y revalorización de las escorias. Se discute como ruta de procesamiento la cianuración para la revalorización de escorias con contenidos de oro y plata. Asimismo, se presentan algunos de los desafíos en la extracción de metales preciosos a partir de estos residuos, así como el impacto medioambiental que el procesamiento puede generar. El objetivo principal es brindar información para elucidar aspectos teóricos esenciales durante el procesamiento metalúrgico de escorias.

### **Generación de Escorias**

La producción de escorias está asociada a los procesos pirometalúrgicos, que se caracterizan por utilizar altas temperaturas para obtener los metales asociados a los minerales (Cui y Roven, 2011). Las escorias son residuos sólidos que se generan como resultado de procesos pirometalúrgicos y su origen está vinculado a la presencia de impurezas y elementos no deseados que se encuentran en la mena o ganga de los yacimientos minerales explotados.

La formación de escorias implica una serie de reacciones químicas complejas. Las escorias se componen principalmente de óxidos y otros compuestos, y su composición química puede variar ampliamente dependiendo de las características del mineral. Durante la tostación, las impurezas presentes en el mineral se oxidan

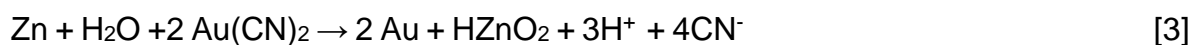
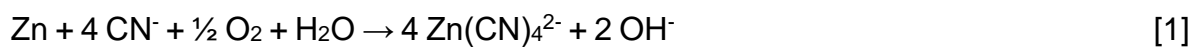
para convertirse en óxidos. Estos óxidos luego reaccionan con los fundentes (e.g., cal o sílice), para formar silicatos y otros compuestos (Wang, 2016; Sarfo y col., 2017).

Las características generales de una escoria del proceso pirometalúrgico para la obtención de cobre son las siguientes: apariencia vítrea, gravedad específica de entre 2.8 y 3.8, conductividad de 500  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , humedad menor al 5% y dureza de entre 6 y 7 en la escala de Mohs. La composición química de las escorias puede ser muy variada, pero es común que incluyan Fe,  $\text{SiO}_2$ , CaO, MgO, Cu,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Mn y Zn (Sánchez y col., 2004).

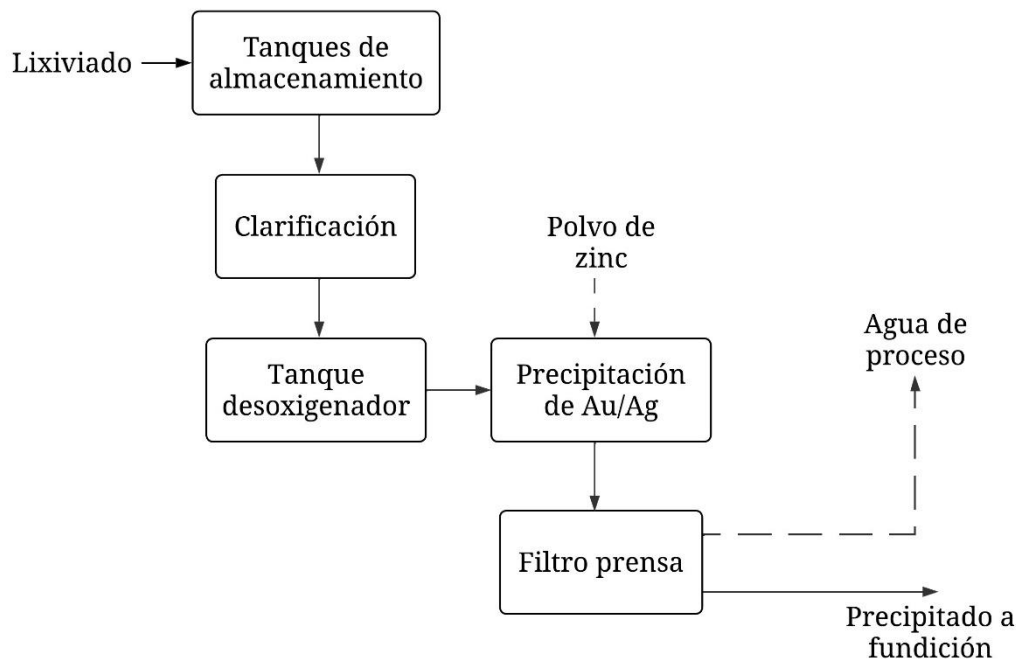
Las escorias que son resultado de la fusión de los precipitados de Merrill Crowe para la obtención de metales preciosos en forma de lingotes conocidos como “doré” incluyen una serie de operaciones unitarias como las que se observan en la Figura 1.

Una vez que el mineral es cianurado, el lixiviado se almacena previo a su clarificación. Posteriormente el lixiviado se filtra para clarificarlo por lo que se alimenta a un tanque desoxigenador y se conduce al proceso de precipitación de metales preciosos mediante la adición de polvo de zinc.

El proceso de precipitación de metales preciosos con polvo de zinc es un proceso electroquímico, proviniendo por reacciones anódicas y catódicas localizadas (Vilchis-Carbajal y col., 2000). Las principales reacciones para la disolución del zinc se presentan en las ecuaciones 1-3.



Es necesario conocer los efectos de las concentraciones de cianuro, oxígeno y nitrato de plomo y el pH sobre la solubilidad del zinc para comprender mejor los fenómenos que controlan la eficiencia del zinc en estos sistemas (Chi y col., 1997).



**Figura 1.-** Diagrama de flujo simplificado del proceso de precipitación de metales preciosos con polvo de zinc para la producción de doré (modificado de Gamboa-Hernández y col. (2018)).

Se ha reportado que una escoria generada mediante el proceso descrito en la Figura 1 puede contener sulfuro de plata, óxidos de hierro, dióxido de silicio, silicatos de sodio y zinc, etc., dependiendo de la naturaleza de la mena y de los fundentes que se utilicen en el proceso (Gamboa-Hernández y col., 2018).

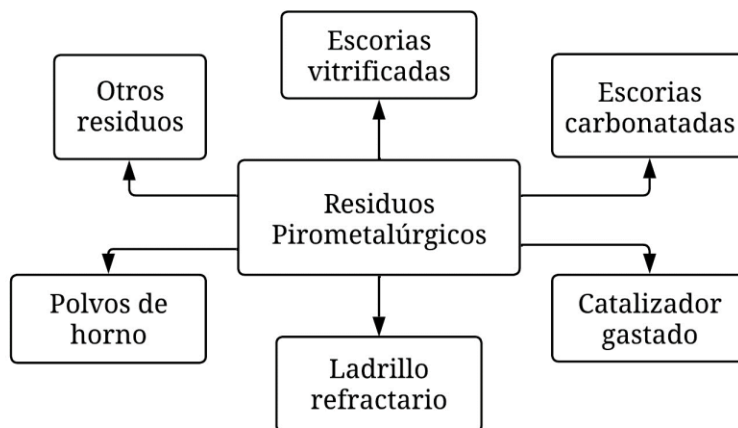
En algunos casos las escorias pueden tener propiedades útiles que las hacen aptas para la fabricación de cemento o agregados para la construcción (Li y col., 2021). Sin embargo, en otros casos, las escorias pueden contener elementos tóxicos, por

lo que es necesaria su neutralización para después mezclarla con asfalto (Sánchez y col., 2004).

Para lograr minimizar el impacto al medio ambiente es necesaria la gestión adecuada de las escorias que se producen por los procesos pirometalúrgicos. Esto implica el diseño de procesos para el tratamiento físico o químico de escorias, la implementación de sistemas para el monitoreo de las áreas en las que se almacenan estos residuos y la adopción de nuevos enfoques de gestión como el de “Desarrollo Total del Proyecto” (TPD, por sus siglas en inglés) (Sánchez y col., 2004).

### Clasificación de las Escorias y sus Principales Usos

Existen diversas formas de clasificar a las escorias, pero por lo regular se hace en función de factores como el proceso mediante el cual se producen, composición química, textura y/o usos. De acuerdo con la NOM-157-SEMARNAT-2009, que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros, las escorias se clasifican en función de los procesos de obtención, por lo que las escorias se agrupan dentro de los residuos de los procesos pirometalúrgicos de acuerdo con la Figura 2.



**Figura 2.-** Clasificación de los residuos pirometalúrgicos de acuerdo con la **NOM-157-SEMARNAT-2009**.

Se denominan escorias vitrificadas, al material solidificado que se extrae del gasificador. La vitrificación se utiliza en la eliminación y el almacenamiento a largo plazo de desechos nucleares u otros residuos peligrosos (Yung-Chin y col., 2016).

La vitrificación es la formación de vidrio mediante la fusión de silicatos en la estructura atómica amorfa asociada con el vidrio (Chen y col., 2018). A medida que el material formado se calienta en el horno, el componente de arcilla se convierte en cantidades cada vez mayores de vidrio (Chu y col., 2018).

Las escorias o materiales vitrificados son desechos de los procesos a alta temperatura que se solidifican mediante un enfriamiento rápido. Estas escorias contienen una mezcla de óxidos metálicos y no metálicos que han fundido juntos y luego se han enfriado rápidamente para formar un vidrio o un material similar (Tzen-Chin y col., 2008).

Debido a las propiedades que tienen las escorias vitrificadas, son adecuadas para diversos usos. La dureza que presentan las hace útiles para la construcción de carreteras y ferrocarriles, así como para la producción de materiales de construcción como bloques y ladrillos (Tzen-Chin y col., 2008). Además, son resistentes a la erosión y al desgaste, lo que las hace aptas para su uso como relleno en la construcción de presas y embalses.

Otra ventaja de las escorias vitrificadas es que son inertes y no tóxicas, lo que las hace seguras para el medio ambiente y para su uso en la agricultura como fertilizante (Souza y col., 2010). Además, su uso ayuda a reducir la cantidad de residuos que se generan en los procesos de fundición y otras industrias.

Las escorias carbonatadas provienen de los procesos para la obtención de hierro y fabricación acero. Como su nombre lo indica, estas escorias se caracterizan por su

alto contenido de carbonatos; dichos carbonatos se forman cuando los gases de combustión se mezclan con el óxido de calcio presente en la escoria (Puertas, 1995). A diferencia de las escorias vitrificadas, las escorias carbonatadas son menos duras y más porosas, lo que las hace más adecuadas para su uso en aplicaciones donde se requiere una mayor capacidad de absorción y filtración (Liu y col., 2021).

Desde el punto de vista ambiental, las escorias carbonatadas se consideran menos contaminantes que las escorias vitrificadas, ya que no contienen metales pesados ni otros contaminantes tóxicos (Santacruz-Torres y Torres-Agrede, 2019). Además, el uso secundario de estas escorias puede reducir la cantidad de residuos generados por la industria del acero que se tiene que almacenar y contribuir a la economía circular.

De acuerdo con diversos autores las escorias se pueden clasificar por el tratamiento al que se sometan, por lo que estas pueden ser escorias cristalizadas, granuladas, peletizadas o expandidas (Zhang y col., 2022; Yuskel, 2018; Douglas y Zerbino, 1986; Pan y col., 2020).

Las escorias cristalizadas son escorias que se han enfriado y solidificado lentamente, lo que permite la formación de cristales. Debido a su alta resistencia y durabilidad, se utilizan comúnmente como material de construcción (Zhang y col., 2022). Por otra parte, las escorias granuladas son escorias que se han enfriado rápidamente en agua o vapor, lo que las hace más porosas y menos densas (Yuskel, 2018). Se utilizan comúnmente como árido para la fabricación de concreto y otros materiales de construcción.

A diferencia de estos dos tipos de escorias, las escorias peletizadas son escorias que se han granulado y se han sometido a un proceso de aglomeración para formar pellets (Douglas y Zerbino, 1986). Estos pellets se utilizan comúnmente como material de relleno en la construcción y para la fabricación de cemento. Las escorias

expandidas son escorias que se han sometido a un proceso de expansión térmica, lo que las hace más ligeras y porosas ([Pan y col., 2020](#)).

Debido a la alta resistencia y durabilidad que presentan las escorias, el principal uso se centra en la construcción de carreteras. Se utilizan comúnmente como agregado en la construcción de bases y subbases de carreteras ([Pasetto y Baldo, 2010](#)). Además, su textura porosa permite un buen drenaje, lo que previene la acumulación de agua en las carreteras ([Wang, 2016](#)).

Es importante destacar que la disposición adecuada de las escorias es esencial para minimizar su impacto ambiental ([Liu y col., 2021](#)). Afortunadamente, las compañías que las producen han implementado prácticas de gestión de residuos responsables, incluyendo la recuperación y el reciclaje. Esto no solo reduce la cantidad de residuos que se envían a los depósitos de almacenamiento, sino que también puede proporcionar una fuente adicional de ingresos para la empresa.

Para el uso de las escorias en la industria de la construcción, los beneficios derivados de la utilización incluyen aspectos de ingeniería, ambientales y económicos ([Wang, 2016](#); [Liu y col., 2021](#)). Si el producto final está en estado sólido, es ambientalmente aceptable y económicamente viable, existirán beneficios simultáneos y habrá un potencial para el uso de la escoria. Lo anterior se representa mediante la Figura 3; el área de intersección (color negro) representa el mayor potencial para el aprovechamiento de la escoria.

Antes de evaluar alguna de las vías para el uso de una escoria, es importante establecer una relación entre las propiedades de la escoria, incluidas las propiedades químicas, minerales, físicas y cualquier propiedad potencialmente "negativa", así como las propiedades requeridas del producto final ([Wang, 2016](#)).

La elección de las técnicas de caracterización dependerá de los objetivos específicos de estudio y de las propiedades de la escoria que se deseen analizar.

En la Tabla 1 se muestran las técnicas de caracterización más comunes para materiales.

**Tabla 1.** Técnicas de caracterización

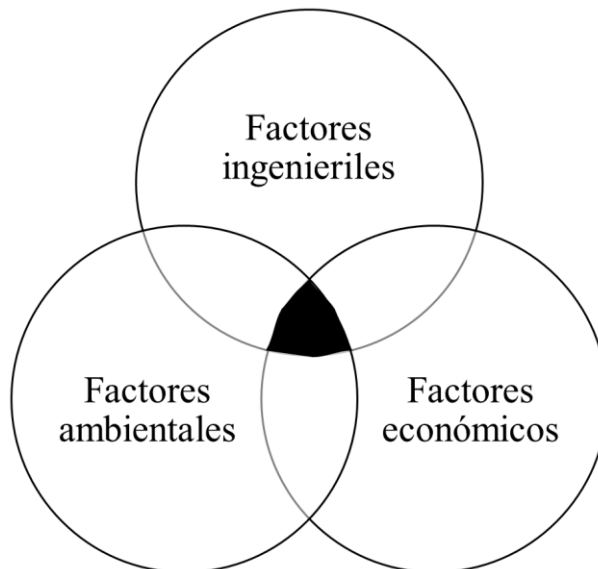
<b>Tipo de análisis</b>	<b>Técnicas</b>	<b>Información</b>
<b>Análisis químico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES).</li> <li>• Espectrometría de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS).</li> </ul>	Estas técnicas permiten identificar los elementos presentes y concentración.
<b>Análisis mineralógico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Difracción de rayos X (DRX).</li> <li>• Microscopía electrónica de barrido (SEM).</li> </ul>	Estas técnicas revelan la presencia de minerales y fases cristalinas.
<b>Caracterización física</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Densidad.</li> <li>• Porosidad.</li> <li>• Resistencia a la compresión.</li> </ul>	Estos datos son útiles para comprender el comportamiento en diferentes aplicaciones.
<b>Análisis térmico</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Termogravimetría (TG).</li> <li>• Calorimetría diferencial de barrido (DSC).</li> </ul>	Estas técnicas se utilizan para estudiar las propiedades térmicas como el punto de fusión, la capacidad calorífica y la estabilidad térmica.

---

<b>Análisis de lixiviación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método de Ensayo de Lixiviación de Columna (TCLP).</li> <li>• Método de Ensayo de Lixiviación Estática (SPLP).</li> </ul>	<p>Para evaluar la lixiviación de metales u otros componentes tóxicos en el medio ambiente, se pueden llevar a cabo pruebas de lixiviación</p>
--------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

---

Se deben contemplar tanto aspectos de ingeniería como ambientales ya que es un garante de un uso racional, seguro y exitoso. De la misma forma una relación cuantitativa es la clave para garantizar la utilización a largo plazo de una escoria y para transferir de manera constante una escoria a un coproducto de manera sostenible.



**Figura 3.-** Relación entre aspectos de ingeniería, ambientales y económicos en el aprovechamiento de escorias (modificado de Wang (2016))

**Revalorización de escorias**

Elegir la vía adecuada de extracción y recuperación de elementos de interés de un residuo depende de factores físicos y químicos. También se deben de tomar la normatividad para el uso de reactivos del país en el que se opera y la cadena de suministro de dichos reactivos. Por ejemplo, es muy importante determinar la composición química de la escoria, que normalmente contiene una mezcla de metales como el cobre, hierro, plomo y zinc ([Nowinska, 2020](#)).

Cuando se consideran métodos pirometalúrgicos se debe poner especial atención en las emisiones atmosféricas ([Hylander y Herbert, 2008](#); [Dunn y col., 2012](#)). Un ejemplo son las emisiones de mercurio de la producción de metales no ferrosos, específicamente del procesamiento de minerales de cobre, plomo y zinc ([Hylander y Herbert, 2008](#)). Además, se observa que la mayoría de las plantas de fundición no cuentan con esquemas de monitoreo precisos y los inventarios globales de cantidades emitidas se basan en datos insuficientes.

Por otra parte, cuando se consideran métodos hidrometalúrgicos, específicamente cianuración, se deben de tomar en cuenta métodos de destrucción de cianuro ([Akcil 2003](#); [Botz y col., 2016](#)). La mayoría de los procesos de destrucción química de cianuro se basan en el principio de convertir el cianuro en cianato, el cual es un compuesto menos tóxico, a través de una reacción de oxidación. Algunas técnicas para la oxidación de cianuro libre a cianato son (1) oxidación natural, (2) proceso de peróxido de hidrógeno, (3) proceso de dióxido de azufre, (4) proceso de cloración alcalina, (5) oxidación biológica y (6) ozonización ([Botz y Mudder, 2002](#)).

Se ha reportado la revalorización de las escorias para recuperar plata mediante el procesamiento pirometalúrgico ([Gamboa-Hernández y col., 2018](#)). Por otra parte, la revalorización de escorias provenientes de los procesos pirometalúrgicos del cobre se ha abordado mediante flotación, lixiviación y fundición ([Sánchez y col., 2004](#)).

Estos métodos se utilizan para separar los componentes de la escoria y obtener productos comerciales útiles, como concentrados de cobre, hierro y otros metales, así como materiales de construcción y abrasivos (Avarmaa y col., 2020). El procesamiento de este tipo de escorias también puede ayudar a reducir los costos de eliminación de residuos y mejorar la sostenibilidad ambiental de la industria minera del cobre.

La revalorización de escorias vitrificadas como materia prima ha sido de interés en los últimos años principalmente por su aplicación en la industria de la construcción y aislamiento térmico. Los polímeros sintéticos a partir de escorias vitrificadas presentan características adecuadas en términos de resistencia (Yung-Chin y col., 2016).

Otro aspecto importante de la revalorización de escorias es la remediación. Debido a la creciente demanda mundial de metales no ferrosos, se han generado problemas ambientales relacionados con las áreas de almacenamiento de escoria en las unidades mineras (Ban y col., 2022). La remediación de estas escorias utilizando materiales de cemento sustitutos del cemento Portland es una alternativa viable, ya que los desechos sólidos peligrosos se convierten en valiosos materiales de construcción (Ban y col., 2022).

Las escorias granuladas de alto horno derivadas de la industria de fabricación de hierro se han utilizado ampliamente para la producción de cementos activados con álcali (Criado y col., 2017). La tecnología de activación alcalina se ha utilizado para producir cementos inorgánicos durante más de un siglo, como un medio para valorizar desechos o subproductos industriales derivados de diferentes actividades comerciales

El tratamiento de las escorias, así como los procesos aplicados para su revalorización van a depender del tipo de escoria y las propiedades particulares de

estás. Además, la gestión adecuada de las escorias es esencial para garantizar que se utilicen de manera segura y provechosa.

## **Cianuración**

La cianuración es un proceso bastante común, utilizado para la extracción de oro y plata de minerales, concentrados minerales o residuos mineros que los contienen. El cianuro se utiliza en los procesos metalúrgicos debido a su capacidad para formar complejos con los metales preciosos ([Kuyuckak y Akcil, 2013](#)). Estos complejos son estables, en términos termodinámicos, en soluciones alcalinas y permiten la extracción eficiente de los metales.

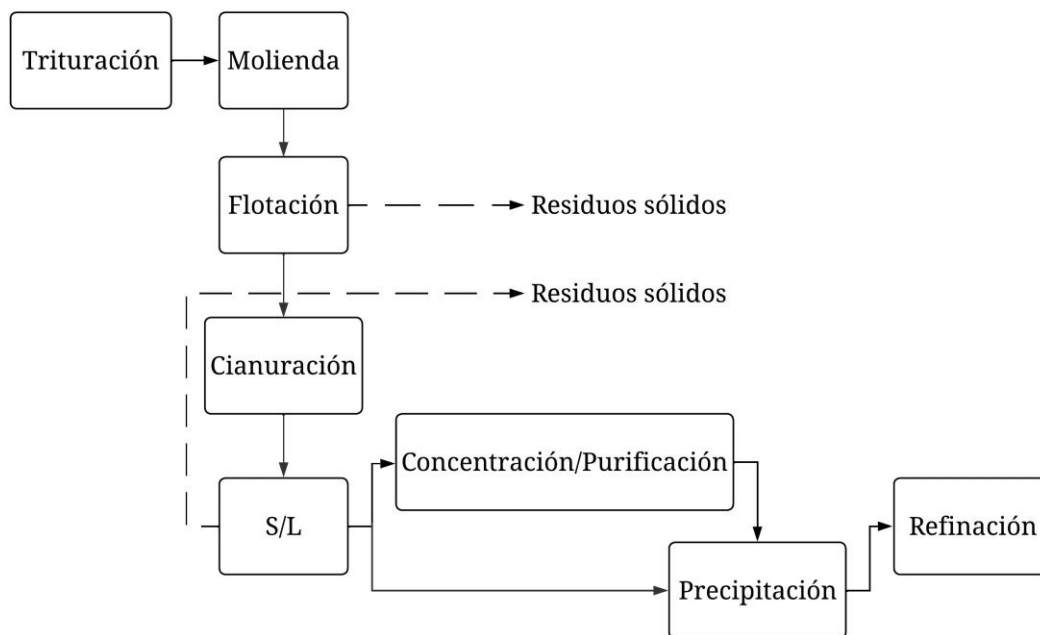
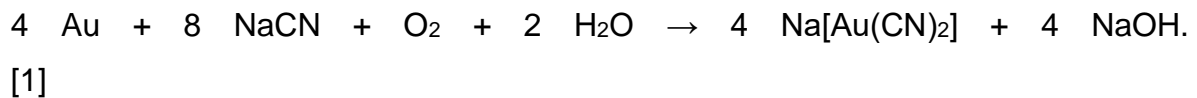
Los procesos de cianuración consisten en extraer constituyentes solubles de un sólido mediante un solvente, al que se le llaman agente lixivante ([Habashi, 1997](#); [Marsden y House, 2006](#)). El agente lixivante más utilizado para la extracción de metales preciosos es el cianuro, principalmente el cianuro de sodio.

El proceso de cianuración está diseñado para la extracción de oro/plata a partir de los minerales que los contienen y el proceso fue puesto en práctica por MacArthur entre 1887 y 1889 ([Yannopoulos, 1991](#)). Es importante mencionar que, aunque se considera al cianuro como un agente lixivante selectivo, éste también forma complejos con otros metales como el cobre, zinc, hierro, etc. ([Adams, 2016](#)).

Es importante considerar que para que un mineral pueda ser cianurado, debe contener al oro y a la plata en un estado de oxidación que permita que sean complejados. Es común utilizar el proceso de cianuración en concentrados minerales o directamente en el mineral que se explota mediante el minado ([Nava-Alonso y col., 2007](#)). El proceso se lleva a cabo en reactores agitados, donde se mezcla la solución de cianuro de sodio con la pulpa del mineral a tratar ([Mudder y col., 2001](#)).

En la Figura 4 se observa el proceso de cianuración. En primer lugar, es necesario que el mineral a tratar tenga un  $d_{80}$  de 75  $\mu\text{m}$ , un tamaño óptimo para producir una pulpa que se puede lixiviar más eficientemente (Yannopoulos, 1991; Adams, 2016).

La pulpa mineral se mezcla con una solución de cianuro de sodio y se agita en reactores durante el tiempo establecido. El cianuro se une químicamente con el oro y la plata para formar un complejo soluble en agua de acuerdo con la reacción de Elsner (ver Ec. 1).



**Figura 4.-** Diagrama de flujo simplificado del proceso de cianuración.

Después de la cianuración, la solución se envía a un espesador para separar los sólidos del líquido y el lixiviado, comúnmente es tratado con carbón activado para adsorber el complejo de oro y plata (Yannopoulos, 1991). El carbón activado se

utiliza debido a su alta capacidad de adsorción y su facilidad de manejo (Adams, 2016).

El carbón activado cargado se limpia con una solución alcalina para llevar a cabo la desorción del oro y la plata, formando una solución concentrada que se procesa posteriormente para recuperar el metal (Adams, 2016). El carbón activado recuperado se regenera mediante la eliminación del complejo de oro y plata mediante la oxidación y la limpieza con ácido.

En general, la cianuración es un proceso ampliamente utilizado para la extracción de oro y plata de sus minerales y concentrados, debido a su eficacia y eficiencia en la extracción. Sin embargo, su uso también ha sido objeto de controversia debido a los posibles riesgos ambientales asociados con el uso de cianuro, como la toxicidad para la fauna y la flora acuática, así como la posibilidad de accidentes y derrames (Abdul-Wahab y Marikar, 2012).

### **Desafíos en la Extracción de Metales Preciosos a partir de Escorias**

El proceso de extracción puede parecer sencillo; sin embargo, existen numerosos desafíos. El principal es la composición de la escoria, ya que puede variar según la composición del mineral y los reactivos que usen para su procesamiento (Wang, 2016). Además, elegir la ruta de revalorización correcta, depende de muchos factores, como las características de las escorias a tratar, las tecnologías disponibles, la regulación medioambiental y la evaluación económica de cada una de estas alternativas.

Dependiendo de las condiciones de producción, los procesos metalúrgicos y la composición del material inicial, la forma en que los metales de interés se encuentren presentes en las escorias va a cambiar. Gamboa-Hernández y col., (2018), han dejado constancia de la presencia de la plata como sulfuro de plata en

las escorias de los procesos hidrometalúrgicos para la obtención de oro y plata (fundición de los precipitados del Merrill-Crowe).

Es importante considerar que la lixiviación del sulfuro de plata es un proceso influenciado por fenómenos de solubilidad (Luna y Lapidus, 2000). Por lo que es necesario tener amplio conocimiento en la serie de reacciones involucradas. Algunas de las implicaciones que pueden presentarse al cianurar el sulfuro de plata son la formación de ácido cianhídrico (HCN), bajo rendimiento de lixiviación, uso de reactivos adicionales (incremento de costos operativos).

El uso de algunos reactivos puede ser tóxico, por eso se deben manejar adecuadamente y se deben implementar tecnologías para su estabilización química (Ledin y Pedersen, 1996). Siempre existe el riesgo de contaminación ambiental si los reactivos utilizados no se tratan correctamente.

Se han desarrollado estudios para proponer nuevas aplicaciones para los diferentes tipos de escorias que se generan por los procesos pirometalúrgicos. Sin embargo, existen pocos registros de estudios de escorias de metales preciosos y su reprocesamiento para otros usos.

Para recuperar estos metales contenidos en escorias u otros desechos, así como posiblemente otros elementos de interés comercial, en los últimos años se ha implementado procesos como concentración gravimétrica, así como, procesos hidrometalúrgicos y pirometalúrgicos aplicables a minerales (Bazan y col., 2015).

### **Impacto medioambiental**

La extracción de metales preciosos de la escoria puede tener un impacto significativo en el medio ambiente. Para mitigar estos riesgos es importante que las empresas sigan normas ambientales estrictas e implementen prácticas sostenibles,

como el reciclaje y la reutilización de materiales de desecho siempre que sea posible.

Una de las preocupaciones al considerar la cianuración como una vía de revalorización es el impacto ambiental que generan los jales cianurados. El uso de productos químicos como el cianuro puede provocar la contaminación del agua y la eliminación de productos de desecho puede provocar la contaminación del suelo (Dong y col., 2021).

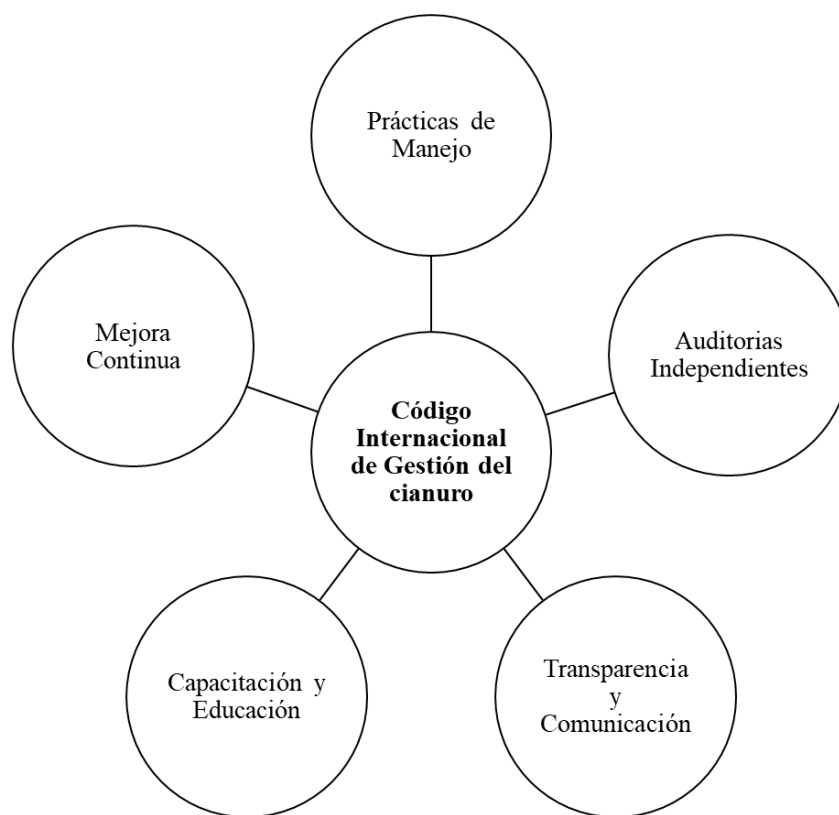
El uso del cianuro debe ser controlado y regulado adecuadamente para minimizar los riesgos ambientales y proteger la salud y seguridad de las personas y los ecosistemas. El código Internacional de Gestión del Cianuro es un programa de certificación voluntario para empresas que fabrican, transportan y utilizan cianuro para la producción de oro y plata, principalmente.

El código fue desarrollado por el *International Cyanide Management Institute* (i.e., Instituto Internacional de Gestión del Cianuro) en colaboración con diversos organismos gubernamentales, la industria minera, organizaciones no gubernamentales y otras partes interesadas. Su objetivo principal es establecer estándares para la producción, transporte y uso seguro del cianuro en la minería del oro, con la finalidad de prevenir impactos ambientales y riesgos para la salud humana.

Los aspectos clave del código del cianuro se presentan en la Figura 5. Principalmente establece las directrices y estándares para la gestión segura de cianuro en todas las etapas, desde la fabricación hasta el transporte y el uso en la minería.

Las instalaciones mineras que adhieren al Código deben someterse a auditorías independientes para evaluar su cumplimiento con los estándares establecidos. A su vez fomenta la transparencia y la comunicación abierta entre las partes interesadas, incluidas las comunidades locales y las organizaciones no gubernamentales.

Promueve la capacitación de los trabajadores y la educación de las comunidades locales sobre los riesgos y las prácticas seguras relacionadas con el cianuro y establece un marco para la mejora continua en las prácticas de manejo del cianuro, considerando las últimas investigaciones y avances tecnológicos.



**Figura 5.-** Aspectos clave del Código Internacional de Gestión del Cianuro (International Cyanide Management Institute, 2021).

### Conclusión

La composición química de las escorias está en función de la vía del procesamiento empleado y dependiendo de la naturaleza de la mena y de los fundentes que se

utilicen en el proceso. Las escorias generadas mediante la fusión de los precipitados del proceso Merrill Crowe pueden contener especies como sulfuro de plata, óxidos de hierro, dióxido de silicio, silicatos de sodio y zinc, entre otros. Por otra parte, las escorias formadas en el procesamiento pirometalúrgico del cobre es común que pueden tener la presencia de elementos como hierro, dióxido de silicio, óxido de calcio, óxido de magnesio, cobre, óxido de aluminio, manganeso y zinc.

Las escorias metalúrgicas tienen un papel importante en la industria debido a su amplia variedad de aplicaciones en diferentes industrias desde la construcción de carreteras y la fabricación de cemento hasta la limpieza de superficies y la producción de materiales de construcción. Estos residuos representan un recurso estratégico ya que al tratarlos e integrarlos a otras industrias se reduce el impacto ambiental de la producción industrial de metales y se contribuye a la economía del proceso mediante el que se generan.

Aunque la extracción de metales preciosos a partir de residuos como las escorias metalúrgicas es compleja, ya que se requiere una comprensión a fondo de las reacciones químicas y de la naturaleza física y química del residuo, es una etapa clave para transitar a una economía circular. En algunos casos, la revalorización de estos residuos resulta la mejor opción, debido a la cantidad de metales de interés que contienen, aun sí se encuentran formando especies complejas.

La metodología para extraer el metal precioso puede variar. En el caso del oro y la plata, el procesamiento que resulta con más beneficio en términos de recuperación y practicidad es la cianuración. Aunque la reputación del cianuro ante la sociedad no es la mejor, es importante difundir que cuando se implementan adecuadamente los procesos de destrucción de cianuro el riesgo medioambiental es nulo y esto convierte al proceso de cianuración en uno de los más confiables.

### **Referencias bibliográficas**

Abdul-Wahab, S. A. y Marikar, F. A. (2012). The environmental impact of gold mines: pollution by heavy metals. *Central European Journal of Engineering*. 2: 304-313. DOI: 10.2478/s13531-011-0052-3

Acosta, A., Aineto, M., Iglesias, I. (2001). Physico-chemical characterization of slag waste coming from IGCCthermal power plant. *Materials Letters*. 50: 246-250. DOI: 10.1016/S0167-577X(01)00233-6

Akcil, A., (2003). Destruction of cyanide in gold mill effluents: biological versus chemical treatments. *Biotechnology Advances*. 21: 501-510. DOI: 10.1016/S0734-9750(03)00099-5

Adams, M. D. (2016). Gold Ore Processing. *Project Development and Operations*. DOI: 10.1016/C2015-0-00699-2

Avarmaa, K., O'Brien, H., Klemettinen, L., Taskinen, P. (2020). Precious metal recoveries in secondary copper smelting with high-alumina slags. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 22: 642–655. DOI: 10.1007/s10163-019-00955-w

Ban J., Sun, K. Yao J., Sunahara G., Hudson-Edwards K., Jordan G., Alakangas L., Ni W., Chi-Sun P. (2022). Advances in the use of recycled non-ferrous slag as a resource for non-ferrous metal mine site remediation. *Environmental Research*. 213: 113533. DOI: 10.1016/j.envres.2022.113533

Bas, A. D., Ghali, E., Choib, Y. (2017). A review on electrochemical dissolution and passivation of gold during cyanidation in presence of sulphides and oxides. *Hydrometallurgy* 172: 30–44. DOI: 10.1016/j.hydromet.2017.06.021

Bazan, V., Brandaleze, E., Valentini, M., Hidalgo, N. (2015). Characterization of Slags Produced During Gold Melting Process. *Procedia Materials Science*. 8: 851 – 860. DOI: 10.1016/j.mspro.2015.04.145

Botz, M. M., Mudder, T. I. (2002). Treatment of solutions and slurries for cyanide removal. En M. C. Adams (Ed.), *Mineral Processing Plant Design, Practice and Control (Second Edition)*. The Society for Mining, Metallurgy, and Exploration. 474.

Botz, M.M., Mudder T.I., y Akcil A.U. (2016). Cyanide Treatment: Physical, Chemical, and Biological Processes In: *Gold Ore Processing (Second Edition)*. Project Development and Operations. 619-645.

Chen, J., Yan, B., Li, H., Li, P., Guo, H. (2018). Vitrification of blast furnace slag and fluorite tailings for giving diopside-fluorapatite glass-ceramics. *Materials Letters*. 218: 309-312. DOI: 10.1016/j.matlet.2018.02.020

Chi, G., Fuerstenau, M. C., Marsden, J. O. (1997). Study of Merrill-Crowe processing. Part I: Solubility of zinc in alkaline cyanide solution. *International Journal of Mineral Processing*. 49: 171-183. DOI: 10.1016/S0301-7516(96)00043-9

Chu, J.P., Hwang, I.J., Tzeng, C.C., Kuo, Y.Y., Yu, Y.J. (2018). Characterization of vitrified slag from mixed medical waste surrogates treated by a thermal plasma system. *Journal of Hazardous Materials*. 58: 179–194. DOI: 10.1016/S0304-3894(97)00130-1

Criado, M., Ke, X., Provis, J. L., Bernal, S. A. (2017). Alternative inorganic binders based on alkali-activated metallurgical slags. *Sustainable and Nonconventional Construction Materials using Inorganic Bonded Fiber Composites*. 185-220. DOI: 10.1016/B978-0-08-102001-2.00008-5

Cui, J. y Roven, H. J. (2011). Waste In: A Handbook for Management. *Electronic Waste*. 281-296. DOI: 10.1016/B978-0-12-381475-3.10020-8

Dong, K., Xie, F., Wang, W., Chang, Y., Lu, D., Gu, X., Chen, C. (2021). The detoxification and utilization of cyanide tailings: A critical review. *Journal of cleaner production*. 302: 15. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126946

Douglas, E. y Zerbino, R. (1986). Characterization of granule and pelletized blast furnace slag. *Cement and concrete research*. 16: 662-670. DOI:10.1016/0008-8846(86)90039-6

Dunn, J. B., Gaines, L., Sullivan, J. y Wang M. Q. (2012). Impact of Recycling on Cradle-to-Gate Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Automotive Lithium-Ion Batteries. *Environmental Science & Technology*. 46: 12704-12710. DOI: 10.1021/es302420z

Gamboa-Hernández, A., Parga-Torres J. R., y Moreno Casillas H. A. (2018). Recovery of silver from slags generated by melting precipitates from the Merrill–Crowe process. *Canadian Metallurgical Quarterly*. DOI: 10.1080/00084433.2018.1544342

González-Ibarra, A.A., Nava-Alonso, F., Fuentes-Aceituno, J.C., Uribe-Salas, A. (2016). Hydrothermal decomposition of industrial jarosite in alkaline media: the rate determining step of the process kinetics. *Journal of Mining and Metallurgy*. 52: 135-142. DOI: 10.2298/JMMB150430016G

Habashi, F. (1997). Handbook of Extractive Metallurgy, Vol. II and III. Wiley-VCH.

Hylander, L. D. y Herbert R. B. (2008). Global Emission and Production of Mercury during the Pyrometallurgical Extraction of Nonferrous Sulfide Ores. *Environmental Science & Technology*. 42: 5971–5977. DOI: 10.1021/es800495g

International Cyanide Management Institute (2021). The International Cyanide Management Code. Disponible en: [www.cyanidecode.org](http://www.cyanidecode.org)

Kanari, N.E., Allair, I., Gaballah, A., Garcia, F. (1999). Characterization of polluting elements in slag from the incineration of waste from the chemical and metallurgical industry. *Revista de Metalurgia (Madrid)*. 35: 3-10

Kinnunen, P., Karhu, M., Yli-Rantala, E., Kivikytö-Reponen, P., Mäkinen, J. (2022). A review of circular economy strategies for mine tailings. *Cleaner Engineering and Technology*. 8: 100449

Kuyucak N., Akcil A., (2013). Cyanide and removal options from effluents in gold mining and metallurgical processes. *Minerals Engineering*. 50: 13-29. DOI: 10.1016/j.mineng.2013.05.027

Ledin, M., y Pedersen, K. (1996). The environmental impact of mine wastes — Roles of microorganisms and their significance in treatment of mine wastes. *Earth-Science Reviews*. 41: 1–2, 67-108. DOI: 10.1016/0012-8252(96)00016-5

Li, Z., Li, J., Spooner, S., Seetharaman, S. (2021). Basic Oxygen Steelmaking Slag: Formation, Reaction, and Energy and Material Recovery. *Materials Recovery*. Steel research international. DOI: 10.1002/srin.202100167

Liu, T., Xie, Y., Guo, X., Zhang, J., Zhu, L., Luo, Z., Tang, Y., Lu, A. (2021). The role and stabilization behavior of heavy metal ions in eco-friendly porous semi-vitrified ceramics for construction application. *Journal of Cleaner Production*. 292: 1-17. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.125855

Luna, R. M. y Lapidus, G. T. (2000). Cyanidation kinetics of silver sulfide. *Hydrometallurgy*, 56: 171–188. DOI: 10.1016/s0304-386x(00)00072-4

Marsden, J. O., y House, C. I., (2006). Chemistry of Gold Extraction (Second Edition). *Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*. 120

Mills, K. Yuan, L., Jones, R.T. (2011). The estimation of slag properties. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 110: 649-658

Mudder, T. I., Botz, M. M. y Smith, A. (2001). Chemistry and treatment of cyanidation wastes. Mining Journal books LTD London.

Muller, A., Blachnik, R. (2002). Reactivity in the system copper–arsenic–sulfur I. The formation of  $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ , enargite. *Thermochemical*. 387: 153–171.

Nava-Alonso, F., Elorza-Rodríguez, E., Uribe-Salas, A., Pérez-Garibay, R. (2007). Análisis químico de cianuro en el proceso de cianuración: revisión de los principales métodos. *Revista de Metalurgia*, 43: 20-28.

Norma Oficial Mexicana NOM-157-SEMARNAT-2009, Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros. Diario Oficial.

Nowinska, K. (2020). Mineralogical and Chemical Characteristics of Slags from the Pyrometallurgical Extraction of Zinc and Lead. *Minerals*. 10: 371. DOI: 10.3390/min10040371

Pan, F., Lv, X., He, W., Pei, G. (2020). Preparation of Expanded Slag Ball with Blast Furnace Slag by Rotary Cup. In: Peng, Z., et al. 11th International Symposium on High-Temperature Metallurgical Processing. *The Minerals, Metals & Materials Series*. Springer, Cham. DOI: 10.1007/978-3-030-36540-0\_29

Panesar D. K. (2019). Supplementary cementing materials. Developments in the Formulation and Reinforcement of Concrete (Second Edition) *Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*. 55-85

Pasetto, M. y Baldo, N. (2010). Experimental evaluation of high-performance base course and road base asphalt concrete with electric arc furnace steel slags. *Journal of Hazardous Materials*. 181: 938-948. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.05.104

Puertas, F. (1995). Cementos de escorias activadas alcalinamente: Situación actual y perspectivas de futuro. *Materiales de construcción*, 45: 53-64.

Rai, V., Liu, D., Xia, D., Jayaraman, Y., Gabriel, J.-C.P. (2021). Electrochemical Approaches for the Recovery of Metals from Electronic Waste: A Critical Review. *Recycling*, 6: 53. DOI: 10.3390/recycling6030053

Reith, F., Zammit, C.M., Rogers, S.L. (2012). Potential utilization of microorganism in gold processing: a review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*, 121: 251-260. DOI: 10.1179/1743285512Y.0000000017

Sánchez, M., Parada, F., Parra, R., Marquez, F., Jara, R., Carrasco, J.C., y Palacios, J. (2004). Management of copper pyrometallurgical slags: giving additional value to copper mining industry. *The South African Institute of Mining and Metallurgy*. VII International Conference on Molten Slags Fluxes and Salts.

Santacruz-Torres, J. y Torres-Agredo J. (2019). Aprovechamiento de escorias de fundición secundaria de plomo en ladrillos cerámicos. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 29: 8-18. DOI: 10.18359/rcin.3495

Sarfo, P., Wyss, G., Ma, G, Das A., Young, C. (2017). Carbothermal reduction of copper smelter slag for recycling into pig iron and glass. *Minerals Engineering*. 107: 8-19. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.02.006

Shi, C., Meyer, C., & Behnood, A. (2008). Utilization of copper slag in cement and concrete. *Resources, Conservation and Recycling*. 52: 1115–1120. DOI: 10.1016/j.resconrec.2008.06.008

Souza, A.J., Pinheiro, B.C.A., Holanda J.N.F. (2010). Recycling of gneiss rock waste in the manufacture of vitrified floor tiles. *Journal of Environmental Management*. 91: 685-689. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.09.032

Tzen-Chin, L., Wei-Jer, W., Ping-Yu, S. (2008). Slag–cement mortar made with cement and slag vitrified from MSWI fly-ash/scrubber-ash and glass frit. *Construction and Building Materials*. 22: 1914–1921. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.07.030

Vilchis-Carbajal, S., Gonzalez, I. y Lapidus, G. T. (2000). An electrochemical study of gold cementation with zinc powder at low cyanide concentration in alkaline solutions. *Journal of Applied Electrochemistry*. 30: 217-229. DOI: 10.1023/A:1003820807315

Wang, G. C. (2016). Nonferrous metal extraction and nonferrous slags. *The Utilization of Slag in Civil Infrastructure Construction*. 35-61

Yannopoulos, J. C. (1991). Cyanidation of Gold Ores In Yannopoulos J. C., The extractive metallurgy of gold, 1st Ed. New York, USA. Van Nostrand Reinhold. 141-168

Yung-Chin, D., Yin-Shya, F., Ta-Wui, C. (2016). Preparation and characterization of vitrified slag/geopolymers for construction and fire-resistance applications. *Materials and Structures*. 49: 1883–1891. DOI: 10.1617/s11527-015-0620-8

Yuskel, I. (2018). Blast-furnace slag. *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete*. 361-415. DOI: 10.1016/B978-0-08-102156-9.00012-2

Zhang, L., Malfliet, A., Blanpain, B., Guo M. (2022). Understanding the relationship between slag crystallization behaviour and electrical conductivity under isothermal conditions for online slag solidification monitoring in slag recycling. *Resources, Conservation and Recycling*. 182: 106-319. DOI: 10.1016/j.resconrec.2022.106319

## **La física y la evolución de los videojuegos**

## **Physics and the evolution of video games**

Iván Cuevas García, Natalia Galván Cámara, Felix R. Saucedo Zendejo

Universidad Autónoma de Coahuila, Centro de Investigación en Matemáticas  
Aplicadas, Edificio "S", Unidad Camporredondo s/n, C. P. 25020, Saltillo, Coahuila,  
México

Correspondencia para autor: Félix R. Saucedo Zendejo  
Universidad Autónoma de Coahuila  
Correo electrónico: [fesaucedoz@uadec.edu.mx](mailto:fesaucedoz@uadec.edu.mx)

## Resumen

Los videojuegos a pesar de ser un medio de entretenimiento, donde frecuentemente se representan situaciones fantásticas, utilizan simulaciones de física basadas en lo que se observa en el mundo real, además de cálculos matemáticos tanto para el aspecto técnico como para el virtual. En este artículo se presenta un recorrido por la evolución técnica del hardware utilizado en los videojuegos, la que dio pie a un avance significativo en la manera de simular los distintos escenarios presentados en ellos. Lo anterior permitió finalmente llegar hasta las técnicas más utilizadas en la actualidad para simular de forma acertada la física dentro de los videojuegos.

**Palabras clave:** física, matemáticas aplicadas, video juegos, simulación numérica, modelado numérico.

## Abstract

Video games, despite being an entertainment medium, where fantastic situations are frequently represented, they use physical simulations based on what it is observed in the real world, as well as mathematical computations for both the technical and virtual aspects. This article presents a tour on the technical evolution of the hardware used in videogames, which gave rise to a significant advance in the way of simulating the different scenarios presented in them. The foregoing finally allowed them to reach the techniques most used today to accurately simulate physics within video games.

**Keywords:** physics, applied mathematics, video games, numerical simulation, numerical modeling

## Introducción

Desde su presentación, los videojuegos han estado relacionados con la física y las matemáticas, ya sea por su construcción, desarrollo, o más recientemente, por la calidad de los gráficos y la fidelidad de las simulaciones presentados en ellos. Algunos incluso utilizan estas herramientas de la ciencia para enriquecer el gameplay en inglés o la experiencia de juego en español. En este artículo se presentara brevemente como es que se ha dado la evolución de los videojuegos a lo largo del tiempo, desde su creación hasta las consolas de generación actual, dando los aspectos más importantes de cada generación, presentando la importancia de las tarjetas gráficas para el desarrollo visual, así como la física dentro de los videojuegos, para finalmente presentar los esquemas de simulación más comunes que suelen utilizarse para reproducir fielmente algunos fenómenos físicos.

## Antecedentes

**Videojuegos.** Antes de que existiera el primer videojuego existieron los “prototipos” de estos llamados juegos electrónicos, como lo son OXO (Gato en Latinoamérica) desarrollado en 1952 por Alexander Douglas como un trabajo doctoral de Cambridge (Kirriemuir, 2006). Siguiendo esta línea, en 1951 Christopher Strachey simuló el juego draughts/checkers (Damas en Latinoamérica) en el Laboratorio Nacional de Física Inglés en Londres (Campbell-Kelly, 2007). El motivo por el cual no se considera a ninguno de estos como el primer videojuego se debe a que estos no cuentan con una interfaz gráfica móvil. Se pueden mencionar otros hitos en la historia de los videojuegos como, por ejemplo, el juego palillos Nim o simplemente Nim, para el cual se desarrolló una computadora que usaba una serie de luces como interfaz y que fue presentado por la firma de ingeniería Ferrati (Baker, 2010). También Alan Turing, quien sería una pieza clave durante la segunda guerra mundial, trabajando junto a Dietrich Prinz, crearon una simulación de Ajedrez que no tenía interfaz gráfica, la cual sería luego programada por Prinz en 1951 (Copeland y Proudfoot, 2000). William Higinbotham, quien trabajó en el equipo que desarrollo la bomba atómica, creó “Tenis for two” en 1958 al estar trabajando en el Laboratorio Nacional de Brookheaven debido a que sus descubrimientos no eran impresionantes para los visitantes, a pesar de que los mismos eran de gran

importancia para la época. Para ello, utilizó una computadora análoga diseñada para rastrear trayectorias de misiles y pantallas de osciloscopio (Sullivan, 1994) como se muestra en la Figura 1. Esta máquina se volvió muy popular entre los visitantes de su laboratorio.



**Figura 1.** Tennis for Two en un Osciloscopio DuMont Lab Type 304-A (BLN, 2013).

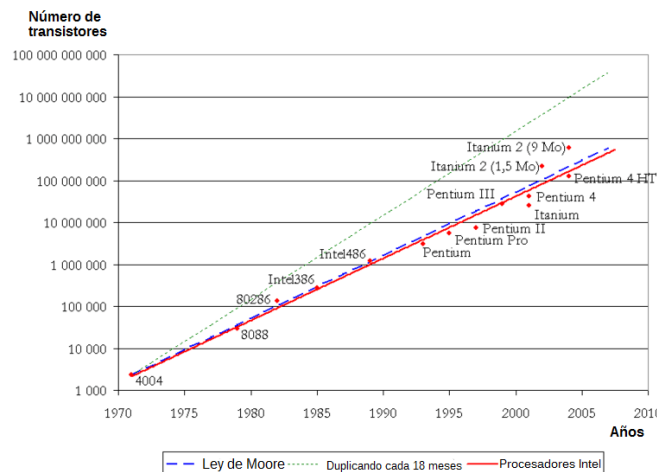
“Space Wars”, que se muestra en la Figura 2, es considerado el primer videojuego de la historia, el cual fue creado por tres estudiantes del MIT (Massachusetts Institute of Technology) en el año 1962. Este juego permitía que dos jugadores tomaran el mando de naves espaciales que orbitaban un hoyo negro mientras se disparaban entre sí. Lo que le valió el título de ser el primer videojuego es que utilizaba tecnología digital, en lugar de tecnología analógica, además de ser el primero adaptado para comercialización y para poder utilizarse en más de un equipo (Ivory, 2016).



**Figura 2.** Spacewar en el museo de historia de la computación (Lu, 2007).

Es importante mencionar que los prototipos de “video juegos” hacen énfasis en la simulación de actividades competitivas como el deporte, combates o incluso más estratégicos, como lo son los juegos de mesa.

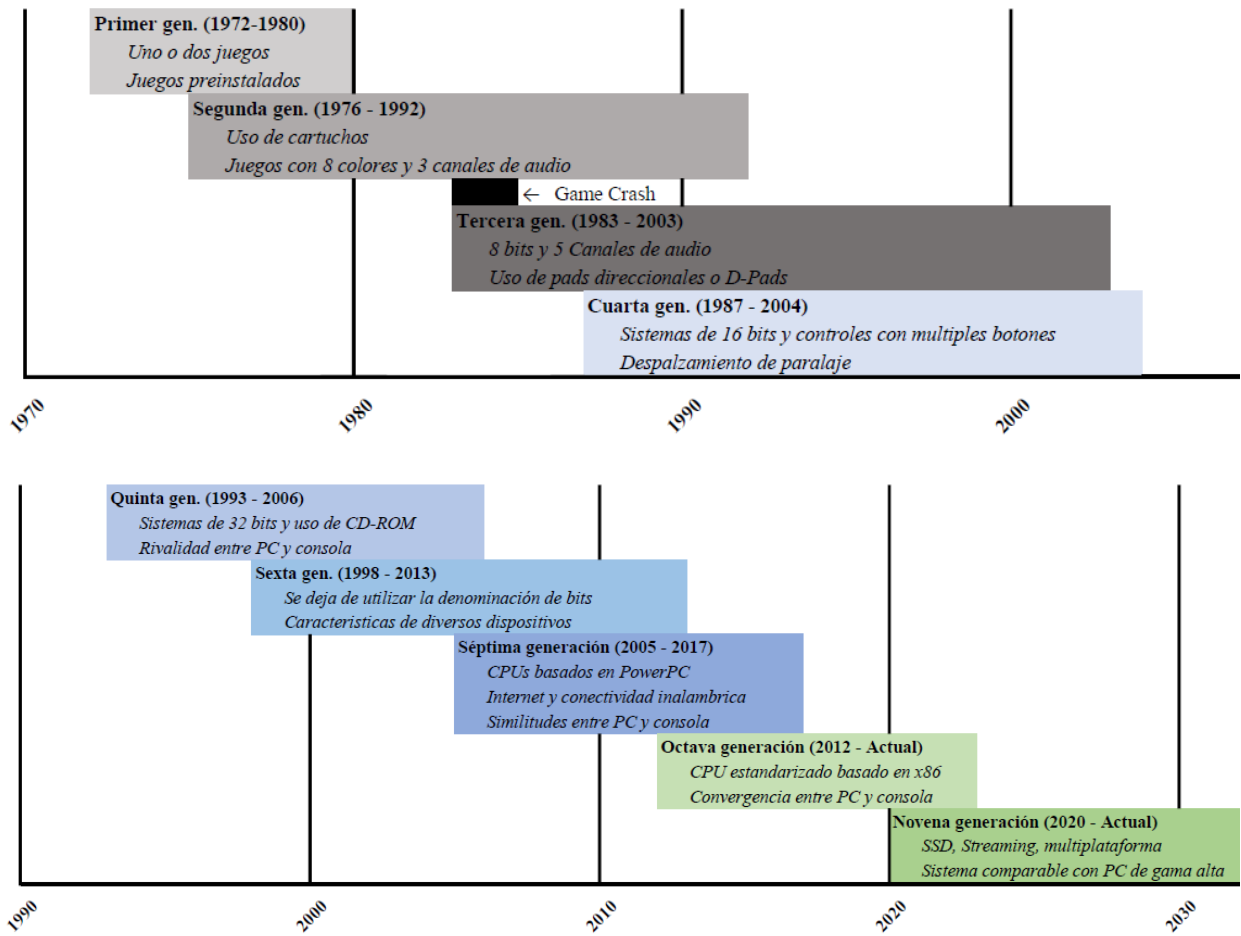
**Hardware.** Como se mencionó previamente, la historia de los videojuegos comienza de la mano de querer hacer simulaciones de actividades competitivas. Sin embargo, tuvo que pasar un tiempo para que la primera consola de videojuegos casera viera la luz en 1972 de la mano del Magnavox Odyssey. Desde entonces el hardware ha ido evolucionando continuamente dando pie a las generaciones de consolas que siguen la ley de Moore, la cual dice que cada 18 meses el poder de procesamiento se duplica, o bien se multiplica por 10 cada 5 años, por lo que, generalmente una generación de consolas dura 5 años, como se muestra en la gráfica mostrada en la Figura 3 (Babb y col., 2013; Conley y col., 2004).



**Figura 3.** Gráfica de la ley de Moore (Seofilo, 2016).

Utilizar el concepto de bit, o el tamaño de una palabra individual en el procesador de la consola, en las primeras generaciones de videojuegos se debe a que los fabricantes utilizaban este término de conteo de bits para describir la potencia de sus consolas (Therrien y Picard, 2015). Esto duró hasta la quinta generación de estas. Con el paso de las generaciones se fueron utilizando longitudes de palabra más grandes, lo que al final favoreció el uso de conceptos como gameplay, gráficos y audio (IGN, 2012). Esto condujo a que las últimas generaciones de consolas se agrupen por fechas de liberación, en lugar de por el tipo de hardware o características que comparten.

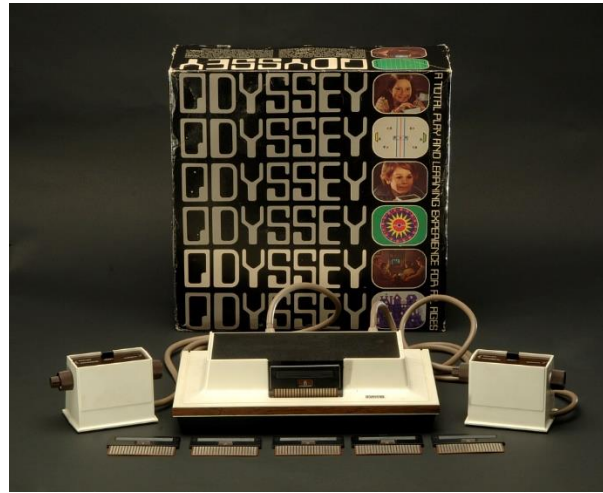
Es importante mencionar que la generación termina cuando se deja de fabricar alguna de las consolas que se desarrolló durante la generación. Por esta razón, las generaciones de consolas generalmente se traslapan entre sí, a pesar de tener como base la ley de Moore, como se puede observar en la Figura 4, en donde también se muestran las características principales de estas. Para poder hablar de cómo es que la física y las matemáticas son utilizadas y aplicadas en los videojuegos, primero se tiene que dar un rápido recorrido por las generaciones de consolas, y ver brevemente como es que se dio su evolución técnica.



**Figura 4.** Línea temporal de la duración de cada generación de videojuegos con sus principales características.

- *Primera generación (1972 - 1980)*

Dentro de esta primera generación se encontraban las consolas dedicadas con uno o dos juegos. Esto quiere decir que este tipo de consola no estaba equipada para poder utilizar algún otro juego, más que los que traían preinstalados de fábrica. Una de estas consolas es la Magnavox Odyssey que se muestra en la Figura 5 junto a su empaque original (Waldron, 2020a).



**Figura 5.** Magnavox Odyssey, Smithsonian, Museo Nacional de Historia Americana (Smithsonian, 2013).

- *Segunda generación (1976 - 1992)*

En esta generación se empezaron a utilizar los cartuchos. De hecho, esta generación está marcada por la introducción de estos, ya que, al conectar un cartucho a la consola, las conexiones eléctricas hacían que el procesador de la consola pudiera leer la información almacenada en la ROM del cartucho. Además de esto, la tecnología dentro de los cartuchos consiguió hacer que los juegos soportaran 8 colores y 3 canales de audio (Waldron, 2020b). En la Figura 6 se muestra una consola Atari 2600 de esta generación, en funcionamiento con un cartucho de un videojuego de baseball.



**Figura 6.** Consola Atari del año 1978 (Universidad de Salamanca, 2022).

- *Game crash*

Entre la segunda y tercera generación se dio el llamado “Game crash” dentro de los videojuegos, que prácticamente fue una saturación del mercado en cuanto a videoconsolas y cartuchos de videojuegos, ocasionando pérdidas millonarias para los fabricantes, junto con la pérdida de muchos empleos. La razón de ello se debió a una notoria falta de innovación y a que muchos de los juegos en esta generación tenían una baja calidad, lo cual resultaba aburrido para el público (Kleinfield, 1983). Tal es el caso notable de Atari quien, con la salida de la película de E.T., desarrollo el videojuego dedicado a la misma en tan solo un mes para su consola Atari 2600. Como era de esperarse, este juego tenía una pésima calidad, malos controles y era extremadamente básico. Por esta razón, los consumidores se quejaron y comenzaron a regresar los cartuchos comprados, dejando a Atari con una pérdida millonaria, y orillándolos a decidir que la mejor opción para deshacerse de este fracaso comercial era enterrar los cartuchos de este videojuego. Lo anterior se creía una leyenda urbana hasta que, en 2014 Microsoft, Lightbox y Fuel Entertainment organizaron una excavación en el desierto de Alamogordo en Nuevo México, donde descubrieron que no era solo una leyenda urbana, si no que realmente estaban

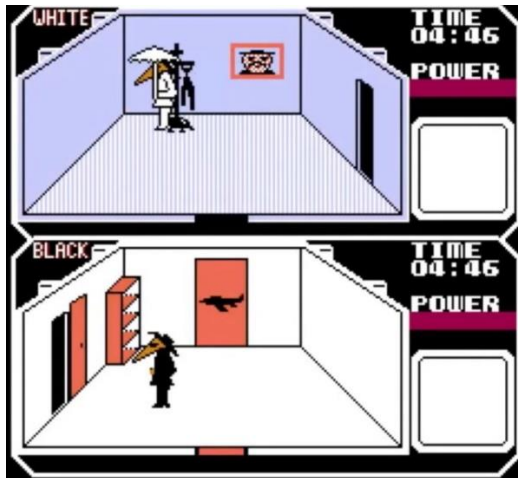
enterrados los cartuchos de este videojuego y de otro llamado Centipede para la misma consola, como se observa en la Figura 7 (González y Bracero, 2017; Teknautas, 2014).



**Figura 7.** Empaques y cartuchos encontrados durante una excavación en Nuevo México (Hatmaker, 2016).

- *Tercera generación (1983 - 2003)*

Esta es la llamada generación de los 8 bits en donde las especificaciones técnicas lograron hacer que las consolas utilizaran procesadores de 8 bits, 5 canales de audio y una capacidad avanzada de procesamiento gráfico, lo que llevó a que los videojuegos utilizaran sprites y tiles en lugar de los gráficos basados en bloques que dominaron la segunda generación. Las capacidades técnicas del hardware permitían moverse en diferentes direcciones dando paso a los “Directional Pads” o simplemente “D-pads” y la resolución subiendo a 256X240 pixeles lo que generó que los videojuegos fueran más complejos, como se observa en las Figuras 8 y 9 (Waldron, 2020c).



**Figura 8.** Spy vs. Spy (Commodore 64) (Vida Extra, 2020a).



**Figura 9.** Excitebike (NES) (Vida Extra, 2020a).

- *Cuarta generación (1987 - 2004)*

En esta generación se da el paso al uso de los 16 bits que tenía ventajas sobre los 8 bits, cómo lo son los múltiples botones en los controles (3-8 botones), desplazamiento de paralaje (las imágenes de fondo pasan más lentamente en la pantalla en comparación con las imágenes del primer plano, creando una ilusión de profundidad como se observa en la Figura 10), colores más elaborados (pasando de 512 a 65,536), audio estéreo con múltiples canales y reproducción de audio digital (Waldron, 2020d; Davis, 1996).



**Figura 10.** Batman the videogame (NES) (Vida Extra., 2020b).

Durante esta generación el costo de uso de discos ópticos (CD-ROM) disminuyó, por lo que se dio la oportunidad de utilizarlos, ya que ofrecían mayor espacio de almacenamiento, video full-motion, así como detallados trabajos de audio y video que podían ser utilizados en los videojuegos. Por estos motivos algunos fabricantes de consolas optaron por desarrollar módulos para utilizar estos CD-ROMs, pero seguían siendo de un costo elevado. Esto hizo que no ganaran mucha popularidad y al salir al mercado la quinta generación basada en CD-ROMs, estos módulos salieron del mercado (Gallagher y Park, 2002). En la Figura 11 se puede observar la consola Super Nintendo que fuera una de las consolas dominantes de su generación.



**Figura 11.** Imagen de la consola Super Nintendo en su 30 aniversario por Nintendo of America vía Twitter (Nintendo of America, 2021).

- *Quinta generación (1993 - 2006)*

A pesar de que en esta generación las computadoras empezaron a verse como un rival para las consolas para jugar videojuegos, estas últimas seguían siendo las preferidas debido a diferentes razones como lo son su menor costo, portabilidad, hardware dedicado específicamente a ser utilizado en los videojuegos, etc. (Next Generation, 1996). En esta generación se empezaron a utilizar los procesadores de 32 bits, así como el formato óptico en lugar de cartuchos en la mayoría de las consolas, aminorando el costo de producción e incrementando la capacidad de almacenamiento (Waldron, 2020e).

En las Figuras 12, 13 y 14 podemos ver las diferencias características de 2 consolas de la quinta generación en donde una utiliza el formato de CD y la otra de cartucho.



**Figura 12.** Consola PlayStation abierta para apreciar el lector de discos (Game Trog, 2020).



**Figura 13.** Consola y accesorios de PlayStation (Game Trog, 2020).



**Figura 14.** Consola Nintendo 64 que utilizaba juegos en formato de cartucho (Scullion, 2021).

- *Sexta generación (1998 - 2013)*

Durante esta generación se dio un salto en potencia para las consolas de modo que empezaron a competir en rendimiento con las computadoras personales. En esta generación también se dejó de utilizar el término de bits. Del mismo modo los fabricantes empezaron a utilizar el formato de DVD, ya que este contaba con una capacidad aún mayor al CD-ROM, crearon tarjetas de memoria externas, y agregaron aditamentos a las consolas para que pudieran tener conexión a Internet. De este modo las consolas comenzaron a obtener características de diversos dispositivos electrónicos y dejaron de ser sistemas que solo podían ser utilizados para jugar videojuegos (Waldron, 2020f; Finn, 2002). Para este punto se puede apreciar la evolución que han tenido las consolas, contando inclusive con controles más sofisticados, como se puede observar en las Figuras 15 y 16, en donde se muestran las consolas de Microsoft (XBOX) y Sony (PlayStation 2 o PS2).



**Figura 15.** Consola XBOX desarrollada por Microsoft (Amos, 2018).



**Figura 16.** Consola PlayStation 2 (versión original y slim) sucesora del PlayStation (Amos, 2016).

- *Séptima Generación (2005-2017)*

Para el año 2007 las consolas de videojuegos representaban el 25% de la potencia computacional en el mundo (Hilbert y López, 2011). Las características clave de esta generación fueron la conexión a internet, la conectividad inalámbrica, tiendas en línea, soporte para almacenamiento interno y externo. Dentro de esta generación se trazó el camino hacia la era del HD, de modo que los discos utilizados por los fabricantes empezaron a ser Blu-ray y HD-DVD debido a las características de estos. Es importante mencionar que las consolas de esta generación, ver Figura 17, comenzaron a utilizar CPUs basados en las instrucciones del PowerPC (Performance Optimization With Enhanced RISC – Performance Computing), que es un grupo reducido de instrucciones para computadoras que sirve para simplificar las instrucciones individuales que se le dan a una computadora, para completar tareas y cuya finalidad es compensar la necesidad de procesar más instrucciones aumentando la velocidad de cada instrucción mediante canales de instrucciones, simplificando las mismas (Chen y col., 2014). Poco a poco empezaron a compartir

más similitudes con las computadoras personales, hablando en el desarrollo de videojuegos.



**Figura 17.** Consolas de la séptima generación (Wii, PS3, XBOX 360) (Arcos, 2008).

- *Octava Generación (2012 - presente)*

En esta generación se opta por que las consolas tengan una mayor integración con otro tipo de media para una mejor conectividad, ya para esta generación se tiene estandarizado el uso de CPUs utilizando el set de instrucciones x86, que es una familia de arquitecturas de grupos de instrucciones de computadora de conjunto de instrucciones complejas. En otras palabras, los CPUs basados en esta arquitectura pueden procesar instrucciones más complejas al igual que lo hacen las computadoras personales. Para este punto se dio la convergencia entre las consolas y las computadoras lo cual hizo que se diera la transferencia entre ellos

de una forma más sencilla (Hruska, 2020). En la Figura 18, se observa la evolución de las consolas de la octava generación.



**Figura 18.** Principales consolas de la octava generación (PS4, XBOX One, Nintendo WIIU) (Rodríguez, 2014).

- *Novena Generación (2020 - presente)*

Las consolas lanzadas para esta generación, debido a las características que tienen son comparables con computadoras personales de gama alta, ya que cuentan con almacenamiento mediante disco duro de estado sólido, tasas de actualización variable, streaming de videojuegos, por mencionar algunas de las características. Debido a esto, el desarrollo de videojuegos multiplataforma se fue haciendo más fácil y la línea entre consolas de videojuegos y computadoras se hace cada vez más delgada (Jewitt y Morris, 2020; Williams, 2020a; 2020b). En la Figura 19, se muestran las consolas de última generación.



**Figura 19.** Consolas de última generación (Vida Extra, 2020c).

**Tarjetas gráficas.** Una vez que se conoce la evolución de las consolas de videojuegos con el paso del tiempo se puede hablar de un componente de suma importancia para las mismas y que aportó en gran medida para que el poder de procesamiento de juegos fuera el necesario. Ésta es la tarjeta gráfica. La historia de las tarjetas gráficas se remonta a finales de los 60's cuando estaban integradas en la placa base de las computadoras y daban salida a imagen o texto en este caso. Para los 80's con el auge de los videojuegos, las tarjetas gráficas también vieron su oportunidad de evolucionar y la primera tarjeta gráfica llegaría con características de RAM de 4 kilobytes y capacidad de representar 25 líneas de 80 caracteres en pantalla (Echavarría, 2008).

En estos años dado que los colores y gráficos llegaron al mundo, IBM desarrolló la tarjeta CGA (Color Graphic Adapter) que podía manejar 16 kibibytes (1 KiB = 1.024 KB), por lo que podía mostrar 4 colores de forma simultánea. En 1990 IBM de nueva cuenta mostró al mundo la VGA (Video Graphics Array) con un poder de procesamiento de 2MB y 256 colores. Para finales de la década de los 90's, Nvidia crea el GPU (Graphic Processing Unit), que es un procesador incorporado en las tarjetas gráficas dedicado a las tareas del mismo (Echavarría, 2008).



**Figura 20.** Tarjeta gráfica (Geektopia, 2023).

Las Figuras 20 y 21 muestran lo que sería una tarjeta gráfica actual y los componentes de otro modelo de tarjeta gráfica, respectivamente. Es importante notar que en la Figura 20 se observa un GPU de Nvidia.



**Figura 21.** Componentes de la tarjeta gráfica expuestos (Geektopia, 2023).

Al seguir avanzando en el tiempo y a partir de la generación del CPU Intel Pentium 4 y AMD Athlon 64 surgió el problema del sobrecalentamiento debido a la frecuencia de operación, lo que llevo a los fabricantes a crear los llamados núcleos del procesador que podían multiplicar el poder de procesamiento, lo cual también se puede lograr al utilizar clústeres que hacen procesamiento en paralelo. Otra de las alternativas que fue concebida debido a que los videojuegos necesitan de un poder de procesamiento bastante elevado para manejar las operaciones complejas que requieren los gráficos 3D fue utilizar tarjetas gráficas para realizar cálculos avanzados en paralelo. Por mostrar un ejemplo, solo tomando en cuenta las frecuencias de operación y la cantidad de núcleos, un procesador Intel Core i9 con

24 núcleos puede tener frecuencias de operación de 6 GHz, mientras que una tarjeta gráfica Nvidia RTX4090, a pesar de que cuenta con frecuencias de 2235 MHz, tiene 16384 núcleos. Nvidia está al tanto de esto y por esta razón tiene un apartado en su sitio web en donde muestra las aplicaciones que pueden tener sus GPUs, así como las diferentes alternativas o soluciones como ellos lo llaman (Echavarría, 2008; Intel, 2022, TechPowerUp, 2022; NVIDIA, 2021).

***Simulaciones físicas.*** La física tiene el objetivo de explicar las reglas que rigen nuestro universo, existen varios campos de ésta que se encargan de describir distintos aspectos del mundo real que interactúan entre sí. La física dentro de los videojuegos no refleja fielmente el comportamiento de sistemas físicos reales debido a las complicaciones que conlleva renderizar escenas en tiempo real y considerar iteraciones con el jugador. Históricamente los videojuegos han utilizado la mecánica clásica para crear la sensación de objetos sólidos, sin embargo, los avances tecnológicos que vienen con el paso de las generaciones de consolas han hecho que se pase de considerar los objetos dentro de los videojuegos como objetos sólidos, donde se ignoraban ciertas leyes físicas, a empezar a verlos como objetos con movimientos más suaves y reales. Este cambio tuvo la implicación de que en lugar de simular un efecto físico programando directamente la ecuación para situaciones específicas (inhibiendo la habilidad de considerar interacciones entre fenómenos físicos), se crearon motores de física, que son piezas de código en donde se tiene una generalización de los fenómenos físicos y ésta se aplica a los objetos del videojuego dependiendo de sus propiedades, permitiendo así interacciones entre distintos efectos, como se puede ver en la Figura 22 (Millington, 2007).



**Figura 22.** Videojuego CONTROL en donde se puede ver la manipulación del entorno (Borger, 2020).

Algunas de las ventajas de usar los motores de física es que son menos complejos de utilizar que programar las ecuaciones, se tiene una mayor exactitud en cuanto a las simulaciones y la interacción entre fuerzas, reusabilidad por mencionar algunos (Hu y col., 2012). Estas simulaciones no solo se utilizan para el aspecto gráfico de los videojuegos, sino que en una gran cantidad de los títulos producidos estas forman parte importante de la jugabilidad en sí. Desde las carreras F1, o los acertijos de The Legend of Zelda: Breath of the Wild, como se observa en la Figura 23, y hasta la experimentación de Noita.



**Figura 23.** Interacción con el entorno en el videojuego Zelda: Breath of the wild (Tach, 2017).

A continuación, se describirán algunas técnicas de simulación inspiradas en la física utilizadas en videojuegos para emular diferentes fenómenos.

## **Métodos de simulación**

### ***Iluminación general***

#### ***- Radiosidad***

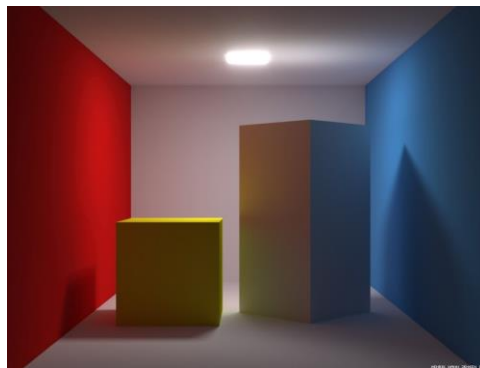
La radiosidad es un método para renderizar luz en situaciones donde hay reflexión difusa. Esto se computa calculando la intensidad de luz de cada píxel sumando la luz emitida por el objeto (en caso de que tenga brillo propio) y la reflejada. Se hacen los cálculos a nivel de mallas y después se aplica alguna técnica de interpolación (como la Gouraud o Phong) (Gilles, 2010).

Esta técnica toma en consideración el efecto que las superficies de los objetos tienen entre sí (como se puede apreciar en la Figura 24), además de las fuentes de luz hacia los objetos. Esto lo hace calculando el impacto que cada elemento de la malla tiene hacia los otros, a esto se le llama factor de forma. El factor de forma toma en cuenta la ley del cuadrado inverso (es decir que la intensidad de la luz

disminuye de acuerdo con el cuadrado de la distancia entre elementos) y la orientación de los elementos (si son paralelos habrá mucha reflexión entre ellos, y si son perpendiculares poca) (Gilles, 2010). El cálculo de este factor de forma puede ser computacionalmente intensivo, por lo que existen aproximaciones (como el método del hemisferio) que eficientizan los cálculos a cambio de soluciones menos realistas (Jin, 2000).

Este método suele tener buenos resultados para reflexiones difusas y es capaz de producir imágenes con alto nivel de realismo, pero tiende a presentar problemas para reflexiones especulares (donde hay poca dispersión de rayos) y a ser computacionalmente caro.

Algunos ejemplos de videojuegos que han utilizado este método de renderización de iluminación son NieR: Automata, Pro Evolution Soccer 2019, Hellblade: Senua's Sacrifice y Street Fighter V Arcade Edition (Enlighten, 2019).



**Figura 24.** Simulación de iluminación usando radiosidad (Jensen, 2001).

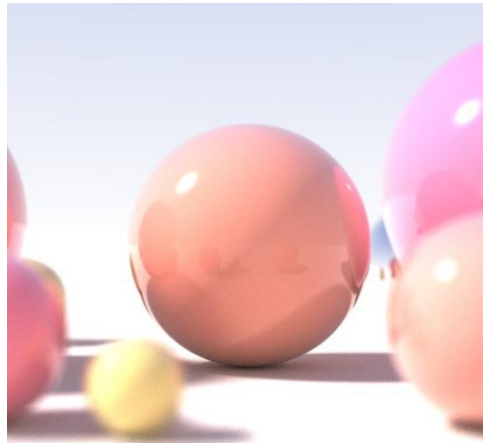
- *Trazado de rayos*

Este método renderiza imágenes creando rayos que van del ojo del observador virtual al centro de cada píxel de la pantalla. Luego estos rayos siguen esa trayectoria hasta encontrarse con un objeto que cambie la dirección o intensidad de

la luz dependiendo de las propiedades de este (Glassner, 1989). Naturalmente, esta técnica consume mucho tiempo al tener que hacer los cálculos de las trayectorias píxel por píxel, sin embargo, existen variaciones de la técnica donde se encuentran las sombras sólidas proyectadas por los objetos y estas se omiten el cómputo de rayos (Aper, 1968).

El trazado de rayos al no requerir división en mallas de las superficies, y, por lo tanto, no necesitar interpolaciones, produce simulaciones fieles a la física de la escena, como se observa en la Figura 25, donde se simula de forma convincente las reflexiones especulares y difusas, además de los reflejos y sombras.

Esta técnica de simulación, capaz de producir imágenes fotorealistas, históricamente ha sido prohibitivamente cara para su uso en videojuegos. Sin embargo, recientemente se han desarrollado tarjetas gráficas (como las Nvidia RTX) que permiten procesar trazado de rayos en tiempo real, además de las consolas de última generación (PlayStation 5 y Xbox Series X) que tienen títulos que usan este método de simulación (Matrindale, 2022) como *Assassin's Creed Valhalla*, *Cyberpunk 2077*, *DOOM Eternal*, *Star Wars Jedi: Fallen Order*, entre otros (tvfindr, 2022). Aunque cabe recalcar que el trazado de rayos en videojuegos requiere de técnicas mixtas para obtener el rendimiento necesario.



**Figura 25.** Simulación de iluminación usando trazado de rayos (Babb, 2008).

### **Olas**

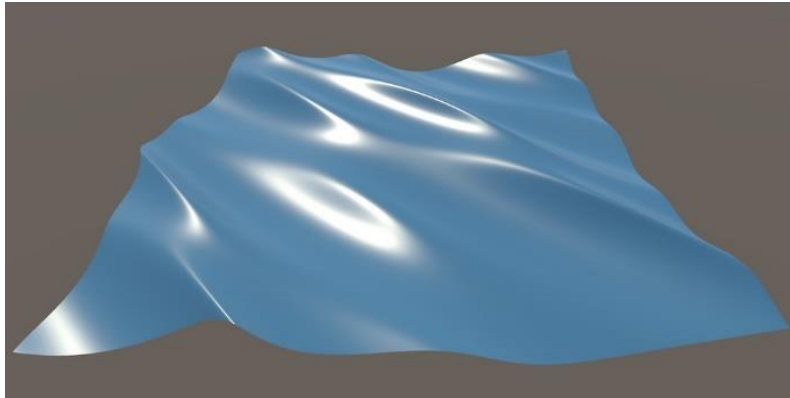
#### *- Ola de Grestner*

Es un método para formar ondas basadas en superficies con forma trocoide. Las formas trocoidales se obtienen de trazar la línea que se forma al seguir un punto situado en un círculo que es rodado por una línea recta.

La forma de trocoide coincide con la solución analítica de la ecuación de Euler para olas de baja amplitud en aguas profundas (Fournier y Reeves, 1986), por lo que este método está inspirado en dinámica de fluidos. Sin embargo, para poder renderizar escenas más generales se modifica la ecuación original para mejorar el aspecto de las olas (Figura 26). Esto hace que la simulación ya no sea física.

Algunas modificaciones simples que se pueden realizar variando parámetros de la función que genera la superficie son: cambiar la fase como proporción a la altura para generar un pico en la punta de la ola para olas grandes, cambiar la frecuencia de la ola en proporción a la profundidad del agua (si la profundidad es variable se requiere hacer un mallado del fluido para computar las reflexiones de las olas) y hacer que cuando las olas se rompan en la orilla se vuelvan más elípticas.

Este método de generación de olas fue la base para el motor de juego desarrollado para Killzone 3, producido por Guerrilla Games, Ben Schrijvers (artista de efectos visuales) quien discute los detalles en su artículo Guerrilla Games - Killzone 3 (SideFX, 2011).



**Figura 26.** Simulación de olas de Grestner (Flick, 2018).

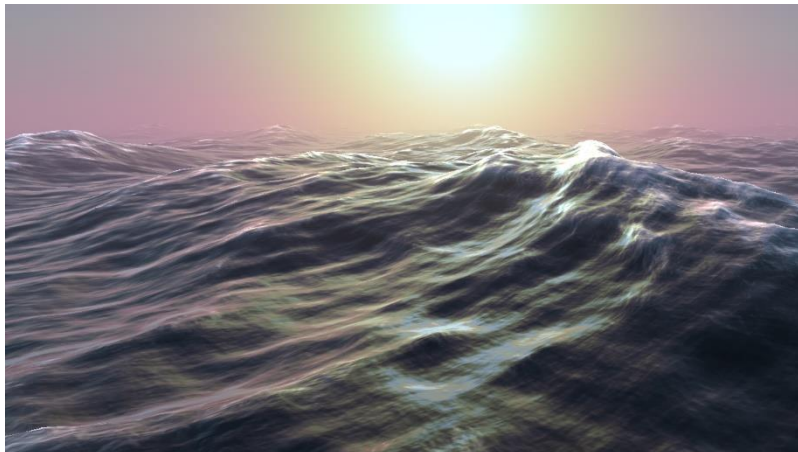
- *Transformada rápida de Fourier*

En esta técnica se ve a la altura de cada punto en la superficie del agua como una función que resulta de la suma de varias funciones sinusoidales, esa suma se computa por medio de la transformada rápida de Fourier (Tessendorf, 2004). La transformada rápida de Fourier requiere conocer parámetros de las ondas como número de onda, frecuencia y amplitud. El número de onda y la frecuencia están conectados entre sí por medio de la llamada relación de dispersión (Pensionerov, 2020). Esta ecuación depende de la profundidad del agua y la gravedad. La amplitud por otra parte tiende a tener comportamiento estocástico debido a la complejidad del fenómeno, sin embargo, siguen ciertas distribuciones de probabilidad dependiendo de los parámetros de la escena a simular. En el artículo titulado “Fourier Synthesis of Ocean Scenes” se propone tomar la amplitud en el espectro de Pierson-Moskowitz (Mastin y col., 1987), éste tiene forma similar a una campana,

con un sólo pico de frecuencia, atenuándose rápidamente para frecuencias bajas y de forma más lenta para frecuencias altas.

Este método genera ondas complejas en cuanto a que puede generar ondas comprendidas por la suma de varias funciones sinusoidales, lo que le hace que luzca realista, pero ignora la interacción que tienen las ondas entre sí debido a reflexiones (Hinsinger y col., 2002). Lo anterior se puede apreciar contrastando la Figura 26 con la Figura 27.

La transformada rápida de Fourier se utilizó para simular el océano de Sea of Thieves, donde el propósito era generar un océano estilizado que pudiera correr en una gama amplia de tarjetas gráficas (Ang y col., 2018).



**Figura 27.** Simulación de olas usando la transformada rápida de Fourier (ARMMALI, 2020).

### ***Partículas***

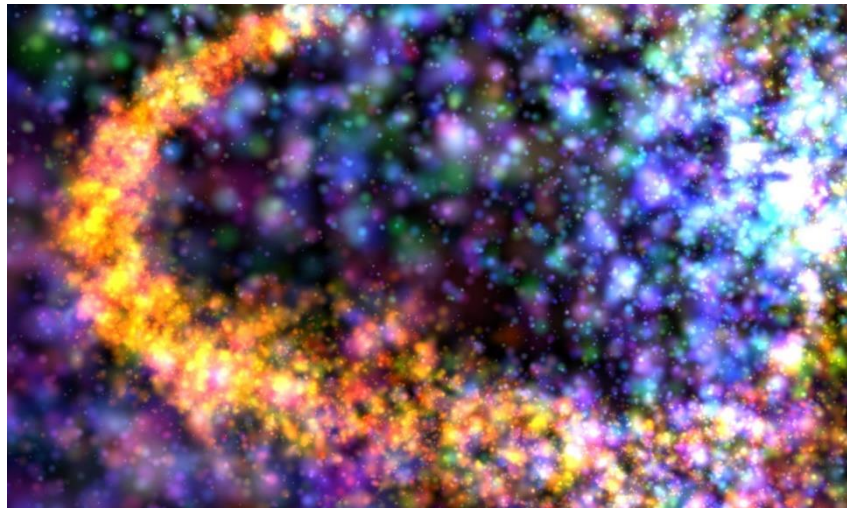
- *Sin estado*

Las partículas sin estado se computan por medio de fórmulas (que se desprenden de las leyes del movimiento de Newton), en estas solo se requiere la información de las condiciones iniciales (usualmente elegidas de forma aleatoria dentro de ciertos rangos por partícula) y el tiempo para calcular las posiciones en cualquier momento,

además de ciertos parámetros como el número de partículas, valor de la aceleración, distancia a la que desaparecen, etc. Esto naturalmente crea un entorno cerrado donde no se puede interactuar con las partículas creadas, por lo que su uso está limitado a animaciones pequeñas como chispas (Latta, 2004).

Los sistemas de partículas se pueden usar para crear fuego, humo, lluvia, nieve cayendo, chispas, escombros, efectos mágicos, etc. Para generar estos efectos solo se varían parámetros como el tamaño de la partícula, su textura, su transparencia, la aceleración que lleva, el rango de velocidades iniciales, su tiempo de vida y la tasa de nacimiento. En la Figura 28, se aprecian partículas con distintas variaciones estéticas.

Un ejemplo de esta técnica se encuentra en las animaciones de Jan Orzulik para el videojuego en desarrollo Precursor (Orszulik, 2023), donde una nave espacial causa destrucción con rayos láser.

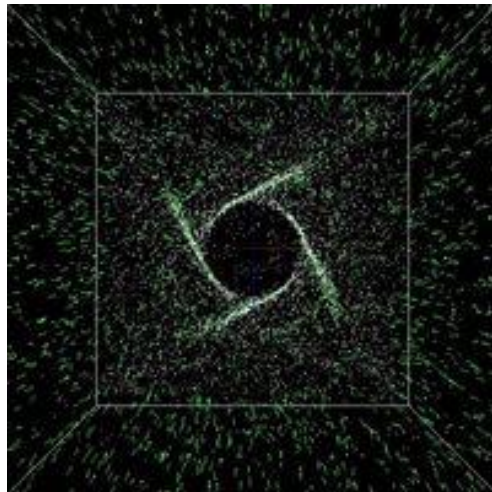


**Figura 28.** Simulación de partículas sin estado (Volnov, 2021).

- *Integración iterada*

Los métodos de integración iterada resuelven la posición de las partículas integrando ecuaciones de física Newtoniana por métodos numéricos como el de Euler o Verlet (Latta, 2007). Estos son esquemas de integración iterativos y requieren información sobre la diferencia de tiempo entre los estados de cada partícula, además de datos de sus posiciones y velocidades anteriores. Esta naturaleza iterativa permite introducir cambios repentinos en las fórmulas fácilmente, lo que hace este tipo de partículas sean interactivas. Las partículas pueden tener colisiones entre ellas y con el ambiente, aunque calcular todos los choques partícula-partícula suele ser computacionalmente caro y se limita a un subconjunto de éstas.

Al igual que las partículas sin estado, esta técnica se puede utilizar para crear una gran variedad de efectos gráficos dependiendo de ajustes en los parámetros. La Figura 29 muestra un remolino usando esta técnica de simulación.



**Figura 29.** Simulación de tornado con partículas sin entorno (Seeber, 2007).

## Conclusiones

Desde el inicio de la industria de los videojuegos éstos han requerido de la física para propósitos estéticos y de gameplay. El reto de agregar interactividad y renderización en tiempo real a animaciones de objetos informa la manera en que se diseñan los algoritmos de simulación física y como se procesan en los componentes del hardware. Avances en estas dos áreas permite la existencia de videojuegos cada vez más realistas y menos inhibidos artísticamente por restricciones de costo computacional, la animación en tiempo real sigue siendo un área de investigación muy activa dentro de la física computacional y matemáticas numéricas, que siguen buscando mayor realismo, más interacciones entre fenómenos físicos y más interactividad con el jugador.

## Referencias

Amos, E. (2016). PS2-Versions.jpg California, Estados Unidos, en *Wikimedia Commons*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/rox0n>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Amos, E. (2018). Xbox-Console-wDuke-L.jpg California, Estados Unidos, en *Wikimedia Commons*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/e8we7>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Ang, N., Catling, A., Ciardi, F. C. & Kozin, V. (2018). The Technical Art of Sea of Thieves. En *SIGGRAPH '18: ACM SIGGRAPH 2018 Talks* (pp. 1-2). DOI:10.1145/3214745.3214820.

Apper, A. (1968). Some techniques for shading machine renderings of solids. En *Proceedings of the April 30-May 2, 1968, Spring joint computer conference* (pp. 37-45). DOI: 10.1145/1468075.1468082.

Arcos, E. (2008). ¿Qué consola de videojuegos comprarás en 2008?. Madrid, España, en *Hipertextual*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tqvha>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

ARMMALI (2020). Ocean Rendering with Fast Fourier Transform California, Estados Unidos, en *arm*. [En línea]. Disponible en: [https://arm-software.github.io/opengl-es-sdk-for-android/ocean\\_f\\_f\\_t.html](https://arm-software.github.io/opengl-es-sdk-for-android/ocean_f_f_t.html). Fecha de consulta: 3 de agosto de 2023.

Babb, J., Terry, N. & Dana, K. (2013). The Impact of Platform On Global Video Game Sales. *International Business & Economics Research Journal*. 12(10):1273–1288. DOI:10.19030/iber.v12i10.8136.

Baker, C. (2010). Nimrod, the world's first gaming computer California, Estados Unidos, en *Wired*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tpymqt>. Fecha de consulta: 6 de junio de 2023.

BLN, Brookhaven National Laboratory (2013). The First Video Game? Nueva York, Estados Unidos, en *Brookhaven Science Associates*. [En línea]. Disponible en: <https://www.bnl.gov/about/history/firstvideo.php>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Borger, W. (2020). Control AWE Expansion Review – It's Not a Lake. It's an Ocean California, Estados Unidos, en *Gaming Bolt*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/dpk76g>. Fecha de consulta: 20 de julio de 2023.

Campbell-Kelly, M. (2007). The history of the history of software. *IEEE Annals of the History of Computing*. 29(4):40–51. DOI:10.1109/MAHC.2007.67.

Chen, C., Novick, G. & Shimano, K. (2014). What is RISC?. RISC Architecture California, Estados Unidos, en *Stanford Computer Science*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/mj4y3>. Fecha de consulta: 14 de agosto de 2023.

Conley, J., Andros, E., Chinai, P., Lipkowitz, E. & Perez, D. (2004). Use of a Game Over: Emulation and the Video Game Industry, A White Paper. *Northwestern Journal of Technology and Intellectual Property*. 2(2):261.

Copeland, J. & Proudfoot, D. (2000). What Turing did after he invented the Universal Turing Machine. *Journal of Logic Language and Information*. 9(4):491–509. DOI:10.1023/A:1008371426608.

Davis, Z. (1996). 16-Bit's Final Hurrah, en *Electronic Gaming Monthly*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/onxi7>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Echavarría, J. (2008). Tarjetas gráficas para acelerar el cómputo complejo. *C&T - Universidad de Palermo*. 1:45-50.

Enlighten. (2019). Case Studies Tokyo, Japón, en *Silicon Studio*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/3qujf>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Finn, M. (2002). Console Games in the Age of Convergence. En *Proceedings of the Computer Games and Digital Cultures Conference* (pp. 45- 58). Tampere: Tampere University Press.

Flick, J. (2018). Waves Moving Vértices Amsterdam, Países Bajos, en *Catlike Coding*. [En línea]. Disponible en: <https://catlikecoding.com/unity/tutorials/flow/waves/>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Fournier, A. & Reeves, W. T. (1986). A simple model of ocean waves. *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. 20(4):75-84. DOI:10.1145/15886.15894.

Gallagher, S., & Park, S. H. (2002). Innovation and Competition in Standard-Based Industries: A Historical Analysis of the U.S. Home Video Game Market. *IEEE Transactions on Engineering Management*. 49 (1):67–82. DOI:10.1109/17.985749.

Game Trog (2020). SONY PlayStation Florida, Estados Unidos, en *Game Trog*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bnxxa>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Geektopia (2023). Las mejores tarjetas gráficas del momento por rango de precio (Nvidia, AMD, agosto 2023) Madrid, España, en *Geektopia*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/eu2cz>. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2023.

Gilles, F. G. (2010). Lecture 13: Radiosity – Principles. London, Inglaterra, en *Imperial College London*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/caq1m>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Glassner, A. S. (1989). *An introduction to ray tracing*. (Primera edición). London: ACADEMIC PRESS LIMITED. 329 Pp.

González, S. & Bracero, A. (2017). Se descubren los cartuchos de E.T. enterrados en el desierto de Nuevo Mexico Madrid, España, en *MeriStation*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vy5ly>. Fecha: 8 de agosto de 2023.

Hatmaker, T. (2016). Atari E.T. Dig- Alamogordo, New Mexico California, Estados Unidos, en *Flickr*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/giu2x>. Fecha de consulta: 5 de agosto de 2023.

Hilbert, M. & López, P. (2011). The World's Technological Capacity to Store, Communicate, and Compute Information. *Science*. 332(6025):60-65. DOI: 10.1126/science.1200970.

Hinsinger, D., Neyret, F. & Cani, M.-P. (2002). Interactive animation of ocean waves. En *SCA '02: Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation* (pp. 161-166). DOI:10.1145/545261.545288.

Hruska, J. (2020). How the Inside of Your Game Console Works Nueva York, Estados Unidos, en *Extreme Tech*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ola8l>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Hu, W., Zhouqing, Q. & Xiaoyuan, Z. (2012). A New Approach of Mechanics Simulation Based on Game Engine. En *2012 Fifth International Joint Conference on Computational Sciences and Optimization* (pp. 619-622). DOI: 10.1109/CSO.2012.141.

IGN (2012). Interview: IBM Details Gekko (Part II) California, Estados Unidos, en *IGN*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/zqjw8>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Intel (2022). Intel Product Specifications California, Estados Unidos, en *Intel*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/26yx5>. Fecha de consulta: 23 de julio de 2023.

Ivory, J. (2016). A Brief History of Video Games. En Rachel Kowert and Thorsten Quandt (Eds.), *The Video Game Debate: Unravelling the physical, social, and psychological effects of digital games* (pp. 1-4). Virginia: Routledge, Taylor & Francis Group, Estados Unidos.

Jensen, H. (2001). Cornell box images California, Estados Unidos, en *Stanford University*. [En línea]. Disponible en: <https://graphics.stanford.edu/~henrik/images/cbox.html>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Jewitt, D. & Morris C. (2020). Why Ray Tracing Matters for PS5, Xbox Series X|S, And PC California, Estados Unidos, en *Game Spot*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/0b71o>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2023.

Jin, G. (2000). *A Survey of Radiosity and Ray-tracing Methods in Global Illumination. Technical Report Final Project of CS368*, Institute for Computer Graphics, The George Washington University.

Kirriemuir, J. (2006). A history of digital games. In J. Rutter and J. Bryce (Eds.), *Understanding Digital Games* (pp. 21–35). Worcester: Sage, England.

Kleinfield N. R. (1983). Video Games Industry Comes Down To Earth Nueva York, Estados Unidos, en *New York Times*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/nd0g0>. Fecha de consulta: 5 de septiembre de 2023.

Latta, L. (2004). Building a Million Particle System. En *Game Developers Conference 2004*. [En línea]. Disponible en: [https://kocca.kr/knowledge/abroad/indu/\\_\\_\\_icsFiles/afieldfile/2010/05/02/72218.pdf](https://kocca.kr/knowledge/abroad/indu/___icsFiles/afieldfile/2010/05/02/72218.pdf). Fecha de consulta: 2 de agosto 2023.

Latta, L. (2007). Everything about Particle Effect. En *Game Developers Conference 2007*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gamedevs.org/uploads/everything-about-particle-effects.pdf>. Fecha de consulta: 2 de agosto 2023.

Lu, K. (2007). Spacewar! California, Estados Unidos, en *Flickr*. [En línea]. Disponible en: <https://www.flickr.com/photos/toasty/364960084/>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Mastin, G. A., Watterberg, P. A. & Mareda, J. F. (1987). Fourier Synthesis of Ocean Scenes. *IEEE Computer Graphics and Applications*. 7(3):16-23. DOI:10.1109/MCG.1987.276961.

Matrindale, J. (2022). What is ray tracing, and how will it change games? Oregon, Estados Unidos, en *digitaltrends*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vxa60>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Millington, I. (2007). *Game Physics Engine Development*. (Primera edición). Estados Unidos: Elsevier 456 Pp.

Next Generation (1996). What the hell does Bill Gates know about games, anyway?. PCs Versus Consoles, en *Imagine Publishing*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/jy5wa>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Nintendo of America. [@NintendoAmerica] (2021). On this day 30 years ago, the Super Nintendo Entertainment System launched in North America! What are some of your [Tweet] San Francisco, Estados Unidos, en *Twitter*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/cc9d0>. Fecha de consulta: 12 de agosto de 2023.

NVIDIA. (2021). Diseño y Simulación California, Estados Unidos, en *NVIDIA*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/f10v6>. Fecha de consulta: 1 de agosto de 2023.

Orszulik, J. (2023). @JanOrszulik: Loot Tables hooked up (I am pretty happy with how they work). Also added loot highlights by category. Containers in the interior are placeholders Renania del Norte-Westfalia, Alemania, en *Mastodon*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/5q1kr>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Pensionerov, I. (2020). Ocean waves simulation with Fast Fourier transform, en *YouTube*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/6tbuk>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Rodríguez, B. (2014). Conoce qué consola vendió más en España durante 2013 Las Palmas, España, en *El chapuzas informático*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/o09eq>. Fecha de consulta: 11 de agosto de 2023.

Scullion, C. (2021). The 25 best N64 games you need to revisit Surrey, Inglaterra, en *Video Games Chronicle*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/roibz>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Seofilo (2016). ¿Qué es la Ley de Moore? Valencia, España, en *Seofilo*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/2tycq>. Fecha de consulta: 23 de agosto de 2023.

SideFX (2011). Guerrilla Games - Killzone 3 Toronto, Canadá, en *SideFX*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/bpntk>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Smithsonian (2013). Magnavox Odyssey Video Game Unit, 1972 Washington D. C., Estados Unidos, en *National Museum of American History*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/hkg2x>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Sullivan, R. (1994). William A. Higinbotham, 84; Helped build first atomic bomb Nueva York, Estados Unidos, en *New York Times*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/gd0u9>. Fecha de consulta: 9 de agosto de 2023.

Tach, D. (2017). Zelda: Breath of the Wild guide: A Test of Will shrine quest walkthrough (Joloo Nah shrine) California, Estados Unidos, en *Polygon*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/lojxo>. Fecha de consulta: 24 de julio de 2023.

TechPowerUp. (2022). NVIDIA GeForce RTX 4090 Specs California, Estados Unidos, en *TechPowerUp*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/sw3en>. Fecha de consulta: 24 de julio de 2023.

Teknautas. (2014). La increíble historia de los juegos de ET que se enterraron en el desierto Madrid, España, en *El confidencial*. Disponible en: <https://n9.cl/ux5gk>. Fecha de consulta: 8 de agosto de 2023.

Tessendorf, J. (2004). Simulating Ocean Water Carolina del Sur, Estados Unidos, en *Clemson University*. [En línea]. Disponible en: [https://people.computing.clemson.edu/~jtessen/reports/papers\\_files/coursenotes2004.pdf](https://people.computing.clemson.edu/~jtessen/reports/papers_files/coursenotes2004.pdf). Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Therrien, C. & Picard, M. (2015). Enter the bit wars: A study of video game marketing and platform crafting in the wake of the TurboGrafx-16 launch. *New Media & Society*. 18(10):2323–2339. DOI:10.1177/1461444815584333.

tvfindr (2022). PS5 Raytracing games: A comprehensive overview and what effect it provides! Westfalia, Alemania, en *tvfindr*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/tngbby>. Fecha de consulta: 2 de agosto de 2023.

Universidad de Salamanca (2022). Consola Atari Salamanca, España, en *Universidad de Salamanca*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/0qroy>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2023.

Vida Extra (2020a). ¿A qué jugábamos en 1984? Estos son los 15 mejores videojuegos clásicos de aquel año Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/11fki2>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Vida Extra. (2020b). ¿A qué jugábamos en 1989? Estos son los 23 mejores videojuegos clásicos de aquel año Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/chd5z>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Vida Extra. (2020c). Ahora que ya conocemos los diseños de PS5 y Xbox Series X, hablemos del tema Madrid, España, en *Vida Extra*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/gu7b8>. Fecha de consulta: 10 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020a). First generation (1972-1977) Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/ooq8b>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020b). Second generation (1976-1984) Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/z1rws>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020c). Third generation (1983-1990) Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/2m4xu>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020d). Fourth generation (1988-1999) Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/l6ouk>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020e). Fifth generation (1993-2001). Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/s3ahz>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Waldron, V. (2020f). Sixth generation (1998-2009). Michigan, Estados Unidos, en *University of Michigan Library*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/g7rpn>. Fecha de consulta: 15 de agosto de 2023.

Williams, A. (2020a). What is frame rate? And how will it change for next-gen consoles? Somerset, Inglaterra, en *Games Radar+*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/r09so>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

Williams, A. (2020b). SSD vs HDD - What does switching to SDD mean for next-gen gaming?. Somerset, Inglaterra, en *Games Radar+*. [En línea]. Disponible en: <https://n9.cl/vqglo>. Fecha de consulta: 13 de agosto de 2023.

**Prevalencia de enfermedades de adultos mayores  
institucionalizados.**

**Prevalence of diseases in institutionalized older adults.**

*Dr. Gabriel Gerardo Suárez Alemán,*

Dr. Víctor Manuel Velasco Rodríguez, Dra. María de Lourdes Limones Aguilar,  
Estudiante de Licenciatura en Enfermería, Karla Lizbeth García Aguirre.  
Facultad de Enfermería Universidad Autónoma de Coahuila, Unidad  
Torreón.

Monte Vesubio S/N Fracc. Valle Dorado, Torreón, Coahuila.

Correo electrónico: [gabriel.aleman@uadec.edu.mx](mailto:gabriel.aleman@uadec.edu.mx)

## Resumen

En la Región de las Américas, las enfermedades crónicas degenerativas causan cada año cuatro de cada cinco fallecimientos, e inevitablemente esta cifra aumentará en las próximas décadas como resultado del crecimiento y el envejecimiento poblacional, la acelerada urbanización y la alta exposición a los factores de riesgo. La enfermedad cardiovascular, neoplasias, las enfermedades respiratorias y la diabetes, son las cuatro principales causas de mortalidad por enfermedad no transmisible. En nuestro país, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, indican que en ese mismo año se registraron 703 047 defunciones, debido principalmente a enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 y cáncer. Para 2017, se produjo un cambio en el panorama epidemiológico, posicionándose en primer lugar la diabetes mellitus, seguida de enfermedades isquémicas del corazón, así como la enfermedad cerebrovascular, siendo estas causas las principales en cuanto a defunciones prematuras en la población mexicana.

En México las enfermedades crónicas degenerativas indican una alta prevalencia, con un incremento importante en el número de personas que sufren de estas enfermedades, según los indicadores de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. En su informe final se establece que la prevalencia de la diabetes por diagnóstico médico previo en adultos en el país fue de 10.3%, y se observa mayor en mujeres con el 11.4 y 9.1% en hombres. El envejecimiento global y la salud de adultos, en México se estima que alrededor del 67% de las personas de 60 y más años de edad presenta diferentes enfermedades crónicas como lo son la angina de pecho, osteoartritis, asma, cataratas, diabetes, enfermedad cerebrovascular, neuropatía crónica, hipertensión arterial y depresión, lumbalgia crónica, déficit auditivo y obesidad.

**Palabras clave:** Prevalencia, enfermedades, adultos mayores, envejecimiento, institucionalizados.

**Abstract:**

In the Region of the Americas, non-communicable diseases cause almost four out of every five deaths each year, and this figure will inevitably increase in the coming decades as a consequence of population growth and aging, urbanization and exposure to environmental factors. risk. Cardiovascular diseases, cancer, respiratory diseases and diabetes are the four leading causes of death from non-communicable diseases. In our country, according to data from the National Institute of Statistics and Geography, they indicate that in that same year 703,047 deaths were recorded, mainly due to cardiovascular diseases, type 2 diabetes mellitus and cancer. By 2017, there was a change in the epidemiological panorama, with diabetes mellitus ranking first, followed by ischemic heart diseases, as well as cerebrovascular disease, these being the main causes of premature deaths in the Mexican population.

In Mexico, chronic diseases have a high prevalence, that is, the number of people suffering from these diseases is on the rise, as demonstrated by the 2018 National Health and Nutrition Survey. In its final report it is established that the prevalence of Diabetes due to a previous medical diagnosis in adults in the country was 10.3%, and it is higher in women with 11.4 and 9.1% in men. Global aging and adult health, in Mexico it is estimated that around 67% of people aged 60 and over have different chronic diseases such as angina pectoris, osteoarthritis, asthma, cataracts, diabetes, cerebrovascular disease. , chronic neuropathy, high blood pressure and depression, chronic low back pain, hearing loss and obesity.

Key words: Prevalence, diseases, older adults, aging, institutionalized.

## **Introducción**

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define al adulto mayor como aquella persona que ha alcanzado la edad de 60 años o más. Las Enfermedades Crónicas No Transmisibles, son afecciones de larga duración, de progresión lenta, las cuales resultan de la combinación de factores; ya sea que estén involucrados los de tipo genético, fisiológico o conductual; o bien de la exposición a factores ambientales que afectan ambos sexos, a todos los grupos de edad (principalmente entre los 30 a 65 años) y todas las regiones del mundo (OMS, 2020).

Las principales enfermedades crónicas degenerativas, y de mayor comorbilidad son las enfermedades cardiovasculares enfermedades respiratorias crónicas, la diabetes y el cáncer; mismas que se han convertido en la principal causa de años perdidos con discapacidad, así como de muerte a nivel mundial (OPS, 2020).

De acuerdo a datos del Instituto de Evaluación y Métrica en salud a nivel mundial, las enfermedades cardiovasculares, como los accidentes cerebrovasculares, arrojan 4.98% del total de las muertes registradas; diabetes, 1.62%; enfermedades respiratorias registradas como enfermedad pulmonar obstructiva crónica, 0.87%; y en cuanto a los tipos de cáncer más comunes como lo son el de pulmón, hígado, estómago, colón y el de mama, registran en conjunto 6.49% (IHME, 2020). Estas cifras representan alrededor de 15 millones de defunciones, siendo los países de medianos y bajos recursos los que concentran más de 85% de las muertes prematuras (OMS, 2020).

En la Región de las Américas, las enfermedades crónicas causan cada año casi cuatro de cada cinco defunciones (79%), e inevitablemente esta cifra aumentará en los próximos decenios como resultado del incremento demográfico y envejecimiento poblacional, la acelerada urbanización y a la continua exposición a los factores de riesgo. Las enfermedades cardiovasculares (38%), el cáncer

(25%), las enfermedades respiratorias (9%) y la diabetes (6%) son las cuatro principales causas de muerte por enfermedad no transmisible (OPS, 2016).

En nuestro país, de acuerdo con datos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), indican que en ese mismo año se registraron 703 047 defunciones, debido principalmente a enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus tipo 2 y cáncer (Oment, 2019). Para 2017, se produjo un cambio en el panorama epidemiológico, posicionándose en primer lugar la diabetes mellitus, seguida de enfermedades isquémicas del corazón, así como la enfermedad cerebrovascular, siendo estas causas las principales en cuanto a defunciones prematuras en la población mexicana (Secretaría de Salud, 2020).

En México las enfermedades crónicas degenerativas indican alta prevalencia, y comorbilidad con un incremento importante en el número de personas que sufren de estas enfermedades, según los indicadores de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018. En su informe final se establece que la prevalencia de la diabetes por diagnóstico médico previo en adultos en el país fue de 10.3%, y se observa mayor en mujeres con el 11.4 y 9.1% en hombres. Por otra parte se menciona, que la prevalencia es mayor a la reportada por esta misma encuesta realizada en 2012 que fue de 9.2, y se advierte mayor prevalencia de acuerdo al incremento de edad, siendo el grupo de 60 años y más el que tiene mayor el indicador de 25% (Instituto Nacional de Salud Pública, 2020).

La población mayor que vive en estas casas hogar o alojamientos, experimenta una dinámica de vida y preocupaciones diferentes. Las enfermedades, su salud física y mental, pero sobre todo emocional, suele tener más afectaciones que cuando se vive en familia o solo. (Cuellar y col., 2021).

El envejecimiento global y la salud de adultos (SAGE por sus siglas en inglés), en México se estima que alrededor del 67% de las personas de 60 y más años de edad presenta comorbilidad en diferentes enfermedades crónicas como lo

son la angina de pecho, osteoartritis, asma, cataratas, diabetes, enfermedad cerebrovascular, neuropatía crónica, hipertensión arterial y depresión, lumbalgia crónica, déficit auditivo y obesidad (Instituto Nacional de Geriátrica, 2019). El objetivo de este estudio es conocer el estado patológico y morbilidad de los adultos mayores, asilados, en estancias geriátricas de Torreón Coahuila.

## **Material y métodos**

Mediante un diseño transversal, se estudiaron 110 sujetos residentes en cuatro estancias geriátricas particulares en la Ciudad de Torreón, Coahuila, de los cuales (n=48) eran hombres y (n=62) mujeres, lo cual corresponde al 44% hombres y 56% mujeres con edad que fluctúa entre los 60 a 94 años de edad (Media de  $73.99 \pm 8.36$  años), previo consentimiento informado se planteó el objetivo, así como los ítems que contemplan las escalas del estudio. Se aplicó una entrevista para recabar variables como edad, y sexo. Para determinar la presencia de enfermedades, se aplicó una escala de Kaplan feinstein, El índice de Kaplan-Feinstein consta de 12 ítems por sistemas de enfermedades explícitamente definidas, con una severidad de 0 a 3 para cada sistema. La puntuación final es una variable ordinal de 4 categorías (de categoría 0 a categoría 3), en donde si están presentes múltiples enfermedades, la enfermedad con el más alto rango define la categoría, la concordancia interobservador arroja una kappa ponderada de 0.82. La predicción con mortalidad para cada nivel fue de  $RR = 2.0$  (IC 95 % = 1.6-2.4).1. Se aplicó una prueba ANOVA, para comparar las varianzas entre las medias (o el promedio) de diferentes grupos, mediante el análisis estadístico STATISTICA, versión 10. Para obtener  $\chi^2$  y significancia estadística. Se establece un margen de error del 0.05% y un intervalo de confianza del 95%.

## **Resultados**

La comorbilidad general en la población mayor, institucionalizada, corresponde al 80% y el 78 % refieren tener problemas de salud, los sujetos estudiados refirieron padecer alguna enfermedad, principalmente hipertensión arterial, con el 58 % y la diabetes mellitus con el 39% fueron la patologías con mayor comorbilidad presente en la población mayor asilada, secuelas de enfermedad vascular cerebral, EVC, fue la de menor frecuencia, (Tabla 1).

Tabla 1. Comorbilidad general, población mayor institucionalizada.

<b>Variable</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>%</b>
Hipertensión	53	58.3%
Diabetes	36	39.6%
Artritis	16	17.6 %
Obesidad	15	16.5 %
Infecciones urinarias	12	13.2 %
Infarto miocárdico	2	2.2 %
Angina de pecho	2	2.2 %
Secuelas de EVC	5	5.5 %

En el análisis exploratorio univariado observamos un comportamiento significativo en relación a las variables hipertensión arterial, diabetes mellitus, enfermedad oftalmológica, artritis reumatoide, en relación al resto de las variables. El listado de estas categorías presentó un puntaje de (0) presencia de la enfermedad pero con control de la comorbilidad subyacente en la escala de Kaplan Feinstein (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis univariado de patologías observadas en la población institucionalizada.

<b>Variable</b>	<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Desviación estándar.</b>	<b>Puntaje 0-3</b>
Hipertensión arterial	49,09091	2522,102	50,22053	0
Diabetes Mellitus	35,45455	2309,425	48,05647	0
Enfermedad Oftalmológica	18,18182	1501,251	38,74598	0
Artritis Reumatoide	17,27273	1442,035	37,97414	0
Traumatismos	14,54545	1254,379	35,41721	0
Enfermedad Mental	11,81818	1051,710	32,43007	0
Enfermedad gastrointestinal	7,27273	680,567	26,08768	0
Infección Respiratoria	7,27273	680,567	26,08768	0
Infección Urogenital	7,27273	680,567	26,08768	0
Infección Pulmonar	6,36364	601,334	24,52212	0
Insuficiencia Cardíaca	5,45455	520,434	22,81302	0
Enfermedad Neurológica	5,45455	520,434	22,81302	0
Infección Gastrointestinal	5,45455	520,434	22,81302	0
Micosis	4,54545	437,865	20,92522	0
Enfermedad articular	4,54545	437,865	20,92522	0
Enfermedad Alérgica	4,54545	437,865	20,92522	0
Cardiopatía Isquémica	3,63636	353,628	18,80500	0
Enfermedad Tiroides	3,63636	353,628	18,80500	0
Úlcera Péptica	3,63636	353,628	18,80500	0
Enfermedad Dermatológica	3,63636	353,628	18,80500	0
Enfermedad Vascular Periférica	2,72727	267,723	16,36225	0
Enfermedad urogenital	2,72727	267,723	16,36225	0
Insuficiencia Renal Crónica	2,72727	267,723	16,36225	0

La hipertensión arterial, la diabetes mellitus fueron las patologías de mayor comorbilidad. En el perfil clínico por género se aprecia mayor comorbilidad en sexo masculino en relación a hipertensión y diabetes. La presencia de pluripatología en la mujer es mayor que en los hombres, en relación a las

patologías como artritis, enfermedad mental, enfermedad, oftalmológica, y traumatismos (Figura 1).

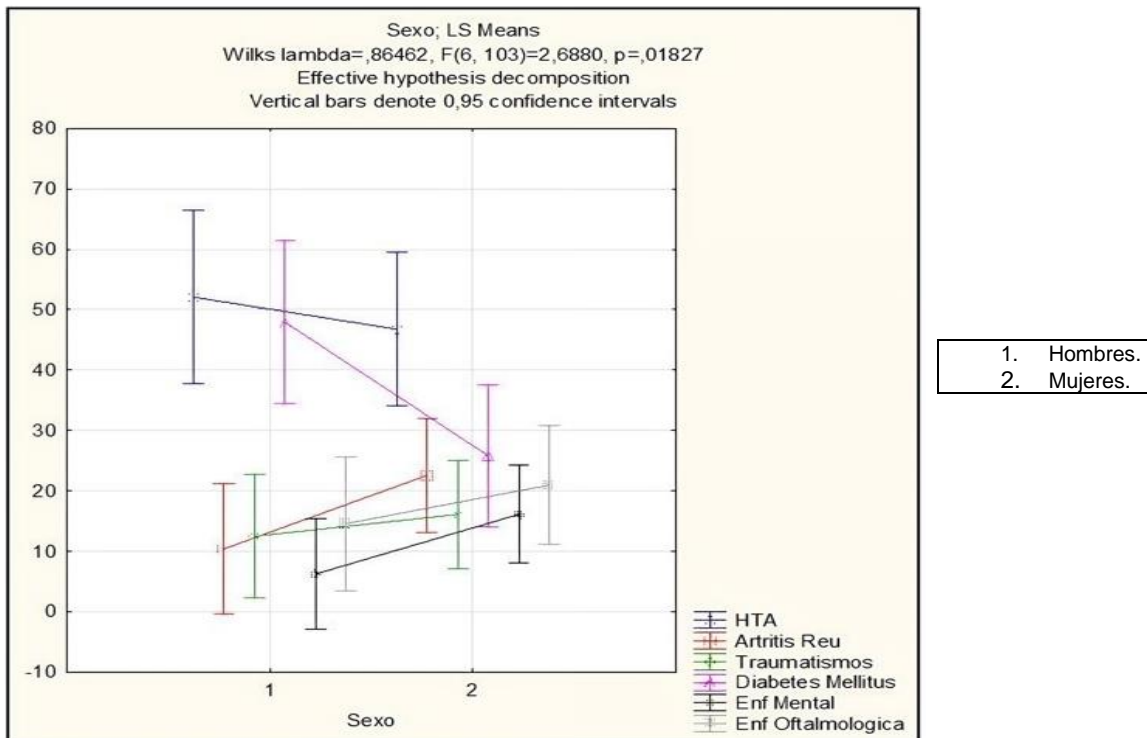


Figura 1. Pluripatología por género.

El análisis estadístico en este comparativo, en relación al perfil clínico que presentan los adultos mayores institucionalizados, observamos la presencia de enfermedades crónicas, presentes en esta población etaria, la hipertensión arterial y la diabetes mellitus, son dos patologías con mayor presencia en el sexo masculino en relación al sexo femenino, la dispersión de estas dos variables entre ellas y entre sí, arrojan un resultado estadísticamente significativo. La artritis reumatoide es otra patológica con mayor acentuación en las mujeres que en los hombres. Los traumatismos, la enfermedad mental y las enfermedades

oftálmicas, guardan una ligera inclinación hacia las mujeres en relación a los hombres, sin embargo, estas tres últimas patologías no pudieran ser significativas en relación al resultado estadístico, pero si, en función a las repercusiones en la cronicidad de las mismas. La diabetes mellitus y la hipertensión arterial, son dos enfermedades crónicas degenerativas de alta incidencia y prevalencia en el mundo, sin embargo, la evidencia menciona que no se relacionan con un sustento biológico intrínseco, y si a factores de riesgo como, tabaquismo, obesidad, sedentarismo, y el factor genético. La presencia de este perfil clínico en la población asilada, en relación a estas patologías clínicas, condiciona negativamente la salud emocional, capacidad funcional, y consecuentemente la calidad de vida en esta población mayor.

## **Discusión**

La comorbilidad general presente en nuestro estudio en población institucionalizada presento una frecuencia patológica, hipertensión arterial del 58.3%. Diabetes mellitus 39.6 %, Artritis reumatoide 17 % y Obesidad 16.5%, estos hallazgos son semejantes a los reportados por Sosa y col. (2014). Los cuales reportaron en su estudio en una población asilada en tabasco México, ser portadores de por lo menos una enfermedad, más del 50% de los adultos mayores fueron portadores de 2 o 3 enfermedades. El 62% presentó comorbilidad (n=50), 26% comorbilidad con pluripatología (n=21) y 12% sólo una enfermedad (n=10). En cuanto a los resultados obtenidos, en esta serie se observó que las principales causas de morbilidad fueron hipertensión arterial primaria, artrosis, diabetes mellitus no insulino dependiente, constipación, presbiacusia e hiperplasia prostática benigna, generalmente asociadas a otras enfermedades. También se identifican la diabetes mellitus y la enfermedad pulmonar obstructiva crónica, ambas con 13 casos, representando el 16,4 %, como características frecuentes de los neuropatas crónicos en este centro. Otro estudio realizado por Pajuelo, y col, (2022) con una muestra fue de 620 adultos mayores, tres de cuatro presentaron

al menos una enfermedad no transmisible. Se encontró una prevalencia de hipertensión arterial (36,3%), síndrome metabólico (31,0%), obesidad (8,4%), diabetes mellitus (6,0%), colesterol HDL bajo (47,3%), hipertrigliceridemia (35,8%), hipercolesterolemia (28,4%), colesterol LDL alto (7,4%). Los varones presentaron menor frecuencia de obesidad, síndrome metabólico y dislipidemia (RPa 0,37; 0,27 y 0,56 respectivamente) respecto a las mujeres.

En el análisis exploratorio univariado encontramos un comportamiento significativo en relación a la presencia de las variables, hipertensión arterial, diabetes mellitus, enfermedad oftalmológica, artritis reumatoide, con el resto de las demás variables, estos resultados en nuestro estudio coinciden por lo realizado por Moran y col. (2017), en un centro geriátrico, donde constataron que todos los pacientes de tercera edad padecían de algún tipo de enfermedad crónica, siendo las más frecuentes la hipertensión arterial (37,1%), la diabetes mellitus tipo II (30%) y la osteoporosis (22,9%) y el tiempo de enfermedad es de 3 a 5 años que corresponde al 68,6%, mientras que el 1,4% de los casos tiene su enfermedad de 6 meses a 1 año. Otro estudio realizado por Cárdenas (2021) cuyos resultados arrojan que las enfermedades crónicas degenerativas más frecuentes son en un 37,5% es hipertensión arterial, con un 14,6% comparten diabetes y sarcopenia, seguida de deterioro cognitivo fisiológico con 7,6%, cardiopatías junto a enfermedad arterial periférica 1% y otras un 5,4%, en nuestra población, pero cabe indicar que muchos de nuestros pacientes pueden padecer hasta 3 o 4 enfermedades, lo cual es un muy alto riesgo de desarrollar una comorbilidad aún más grave de la enfermedad de base que presenta.

Realizamos un comparativo en relación al perfil clínico que presentan los adultos mayores asilados, al análisis estadístico observamos la presencia de enfermedades crónicas, presentes en esta población etaria, la hipertensión arterial y la diabetes mellitus son dos patologías con mayor presencia en el sexo masculino en relación al sexo femenino, la dispersión de estas dos variables entre

ellas y entre sí, arrojan un resultado estadísticamente significativo. La artritis reumatoide es otra condición patológica con un poco de mayor acentuación en las mujeres que en los hombres. Los traumatismos, la enfermedad mental y las enfermedades oftálmicas, guardan una ligera inclinación hacia las mujeres en relación a los hombres, sin embargo, estas tres últimas patologías no pudieran ser significativas en relación al resultado estadístico, pero si, en función a las repercusiones en la cronicidad de las mismas. La diabetes mellitus y la hipertensión arterial, son dos enfermedades crónicas degenerativas de alta incidencia y prevalencia en el mundo, sin embargo, la evidencia menciona que no se relacionan con un sustento biológico intrínseco, y si a factores de riesgo como, tabaquismo, obesidad, sedentarismo, y el factor genético. La presencia de este perfil clínico en la población asilada en relación a estas patologías clínicas, condiciona negativamente la salud emocional, capacidad funcional, y consecuentemente la calidad de vida en esta población mayor. Los hallazgos en nuestro estudio coincide con lo publicado por Arangoytia y col. (2019), en un estudio realizado en lima, Perú, con adultos mayores institucionalizados, determinó comorbilidad en la población muestral, adultos mayores con diabetes (24%), hipertensión arterial (21%), osteoporosis (10%), donde este conjunto de enfermedades en la etapa adultez mayor, genera deficiencias en la calidad de vida. Lo cual coincide con nuestras inferencias y conclusiones en este análisis. En cuanto al comportamiento de la hipertensión arterial, y diabetes mellitus, con mayor presencia en varones, que, en mujeres de acuerdo a nuestro estudio, mencionamos nuevamente lo referido por Arangoytia y col. (2019) el cual reporto que la hipertensión afecta más a las mujeres y la diabetes mellitus a hombres. Otro estudio realizado por Zaldívar y col. (2022) se correlacionan con el nuestro al encontrar antecedentes patológicos personales en un hogar de ancianos, donde la hipertensión arterial fue la enfermedad de mayor incidencia con 65,9 % (87 pacientes), seguida; aunque con porcentajes distante a la anterior, la discapacidad físico-motora (16,7 %), la cardiopatía Isquémica con 12,9%, la diabetes Mellitus

con 11,4 %. La patología de menor frecuencia fue la Neoplasia con dos casos, 1,5 %. Sin embargo diversos estudios divergen en el comportamiento significativo en relación al comportamiento de estas, y otras patologías presentes en la población mayor institucionalizada.

## **Conclusión**

Es importante mencionar que la institucionalización se convierte en un entorno determinante donde prevalece la presencia de comorbilidad patológica y la exacerbación de las mismas con el paso del tiempo. En el estudio que realizamos, se trata de reflejar la importancia del factor salud o enfermedad, presente o ausente en la población asilada en centros geriátricos en Torreón Coahuila, población mayor con características propias, que derivan del contexto pasado y presente en el que residen. Es importante considerar y prestar atención en la caracterización clínica de la población mayor asilada de manera individual, que permita establecer estrategias en el manejo y control de enfermedades crónico degenerativas presentes en esta población, para evitar desenlaces no favorables que se traduzcan en discapacidades que deterioren su funcionalidad y por ende su calidad de vida de los adultos mayores.

## Referencias

Arangoytia Quispe, K. P. y Cutipa Martínez, L. M. (2019). Hábitos alimentarios de adultos mayores institucionalizados relacionados con el estado nutricional y las enfermedades crónico – degenerativas, Lima – 2019 (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle, Lima, Perú

Cuéllar, P. C. G., & Hernández-Lara, O. G. (2021). COVID 19 en la vejez institucionalizada: cuidados de las personas mayores en la frontera norte de México: cuidados de las personas mayores en la frontera norte de México. *Revista Kairós-Gerontología*: 24: 115-148.

Cárdenas F.H. (2021) Enfermedades crónico degenerativas más frecuentes de los adultos mayores en los centros geriátricos de atención permanente y diurnos de la ciudad de Loja. Universidad Nacional de Loja, Ecuador - 2021 (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional de Loja, Quito, Ecuador.

IHME. (2020). Institute for Health Metrics and Evaluation. [GBD Compare]. Recuperado de: <https://vizhub.healthdata.org/gbd-compare>. Ops. (2020). Enfermedades no transmisibles: hechos y cifras. Recuperado de: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/51482> [Consultado el 19 de octubre de 2020].

Instituto Nacional de Geriátrica. (2019). Boletín del Instituto Nacional de Geriátrica. Boletín del Instituto Nacional de Geriátrica: 2(3): 1-28. Recuperado el 8 de Febrero de 2022, de [https://anmm.org.mx/PESP/archivo//INGER/Boletin\\_Abril2019.pdf](https://anmm.org.mx/PESP/archivo//INGER/Boletin_Abril2019.pdf)

Instituto Nacional de Salud Pública. (2020). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018-19 Resultados Nacionales. Recuperado el 19 de Enero de 2022, de [https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut\\_2018\\_informe\\_final.pdf](https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2018_informe_final.pdf)

Mora Cantos, V. P., & Guamán Zumba, E. X. (2017). Perfil de salud-enfermedad de los adultos mayores con enfermedades crónico degenerativas del Hogar Miguel

león. Cuenca, 2017 (Bachelor's thesis). Retrieved from <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28697>

Organización Panamericana de la Salud. (2016) Enfermedades Transmisibles y Análisis de Salud/Información y Análisis de Salud. *Situación de la salud en las Américas: indicadores básicos 2016*. Washington, D.C.: OPS; 2016. Disponible en: <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/31288>.

Sosa, G. D., & Baños, E. G. (2014). Morbilidad en usuarios de un hogar de ancianos de asistencia social en centro, Tabasco, México, 2013. *Archivos de medicina: 10*(1): 16.

Secretaría de Salud. (Marzo de 2020). Panorama epidemiológico de las enfermedades no transmisibles en México, 2019. Recuperado de: [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566083/Panorama\\_Epi\\_EnfNoTrans-2019\\_27jul2020.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/566083/Panorama_Epi_EnfNoTrans-2019_27jul2020.pdf).

Oment. (2019). Observatorio Mexicano de Enfermedades No Transmisibles. [Mortalidad por enfermedades no transmisibles en México]. Recuperado de: <http://oment.salud.gob.mx/aumentanen-mexico-muertes-relacionadas-con-enfermedades-no-transmisibles>.

OMS. (2021) Envejecimiento y salud, [Citado 12 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>

OMS. (2020). Enfermedades no transmisibles. Recuperado de: <https://www.who.int/es/newsroom/fact-sheets/detail/noncommunicable-diseases>.

Pajuelo Ramírez, Jaime, Bartolo Marchena, Marco, Bravo Rebatta, Fernando, Racacha Valladares, Elizabeth, & Agüero Zamora, Rosa. (2022). Frecuencia y factores asociados a las enfermedades crónicas no transmisibles en adultos mayores en el Perú, año 2005. *Anales de la Facultad de Medicina: 83*(4), 299-306. Epub 22 de noviembre de 2022. <https://dx.doi.org/10.15381/anales.v83i4.24333>

Zaldívar Suárez, N., Saborit Oliva, Elías Postigo, O., Collejo Rosabal, Y., & Robles Ortiz, J. (2022). *Síndrome de dismovilidad en el hogar de ancianos “Lidia Doce”*. Multimed: 26(4): e2171. Epub 20-Jul-2022. ISSN 1028-4818.

**La enseñanza del Cálculo apoyado en softwares Matemáticos en alumnos del Nivel Medio Superior de Primer, Tercer y Quinto semestre de las diferentes especialidades del CETis 46 en Cd. Frontera Coahuila**

The teaching of Calculus supported by Mathematical software in students of the Higher Secondary Level of the first, third and fifth semester of the different specialties of CETis 46 in Cd. Frontera Coahuila

Adriana Hernández Córdova<sup>1</sup>, Norma Araceli Aguilar Covarrubias <sup>1</sup>, Oscar Javier Garza Guerrero<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Monclova. Carretera 57 km 4.5 Unidad Tecnológica y Universidad, C.P. 95245 Monclova, Coahuila México

<sup>2</sup> Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios No. 46. Carretera 30 Km 7, Col. Héroe de Nacozari, C.P. 25610 Frontera Coahuila México

Correspondencia para autor: Adriana Hernández Córdova  
Tecnológico Nacional de México. Instituto Tecnológico Superior de Monclova

[adriana.hc@monclova.tecnm.mx](mailto:adriana.hc@monclova.tecnm.mx)

## RESUMEN

Este trabajo detalla información referente a hallazgos de la investigación cuyo objetivo fue fortalecer y complementar los conceptos, fórmulas y procedimientos en la enseñanza del cálculo mediante la realización de prácticas y el uso de herramientas digitales, útiles en el proceso formativo de los estudiantes. Lo anterior mediante la impartición del Curso Taller: “La enseñanza del Cálculo apoyado en softwares Matemáticos”, en el cual participaron estudiantes del Nivel Medio Superior. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, de tipo descriptivo-exploratorio y un diseño no experimental transeccional. Para el análisis de datos se utilizó estadística descriptiva, frecuencias y porcentajes. Se obtuvieron datos generales sobre conocimientos previos y adquiridos. Lo anterior mediante una encuesta general de inicio y de término, además de una prueba de base estructurada de pre-test y pos-test, las cuales se evaluaron en base a temas seleccionados de los programas de Cálculo del Nivel Medio Superior. En base a la recopilación de datos en las pruebas anteriores, se realizó un análisis comparativo y se obtuvieron como resultados que en su mayoría los alumnos participantes en este proyecto al final del curso adquirieron conocimientos y habilidades en el uso de softwares matemáticos como herramientas de apoyo que permitieron la comprensión, análisis y solución de problemas de cálculo.

**Palabras clave:** Aprendizaje, cálculo, softwares matemáticos

## ABSTRACT

This work details information regarding research findings whose objective was to strengthen and complement the concepts, formulas and procedures in teaching calculus through practical exercises and the use of digital tools, useful in the students' training process. The

above through the teaching of the Workshop Course: “Teaching Calculus supported by Mathematical Software”, in which students from the Higher Secondary Level participated. The research approach was quantitative, descriptive-exploratory and a non-experimental transectional design. Descriptive statistics, frequencies and percentages were used for data analysis. General data on prior and acquired knowledge were obtained. The above was done through a general survey at the beginning and end, in addition to a structured pre-test and post-test base test, which were evaluated based on selected topics from the Calculus programs of the Higher Secondary Level. Based on the data collection in the previous tests, a comparative analysis was carried out and the results were obtained that the majority of the students participating in this project at the end of the course acquired knowledge and skills in the use of mathematical software as support tools. that allowed the understanding, analysis and solution of calculation problems.

**Keywords:** Learning, calculation, mathematical software

## INTRODUCCIÓN

La inclusión de herramientas digitales y/o softwares matemáticos en la enseñanza del cálculo es actualmente una alternativa para que el estudiante adquiera sus conocimientos de diferente manera. Según (Fernández y col., 2017) en su investigación, “Software educativo y las funciones matemáticas. Una estrategia de apropiación”, establecieron criterios del uso del software educativo como estrategia para el aprendizaje de las funciones matemáticas en el Programa de Administración de la Universidad Experimental Rafael María Baralt, con una metodología documental con diseño bibliográfico, para que matemáticamente el conocimiento nuevo fuera apropiado por los estudiantes. El resultado de su investigación fue que el uso de software educativo ayuda en el proceso de enseñanza aprendizaje del estudiante.

La importancia de reforzar el aprendizaje radica en gran medida en el apoyo de

diversas herramientas. Por lo anterior Barradas (2021) evaluó el impacto de los recursos digitales como apoyo en la enseñanza del cálculo para disminuir la reprobación. Empleó un enfoque mixto y de tipo correlacional. Utilizó instrumentos y resultados con métodos estadísticos en los cuales visualizó aprendizajes significativos en los estudiantes. Desarrolló actividades en la plataforma y solo 26 % acreditó el curso sin embargo concluyó que los contenidos y el diseño del curso fueron aceptados en su totalidad por los estudiantes.

Asimismo, Velasteguí y col. (2021) realizaron una propuesta con una metodología para implementar softwares matemáticos en las carreras de Ingeniería partiendo de integrar contenidos matemáticos mediante la solución de problemas. Obtuvieron mediante pruebas estadísticas que las estrategias aplicadas tuvieron efectos positivos en el resultado académico y en el desarrollo de competencias profesionales, no así en la parte motivacional de los estudiantes. En esta misma línea, Zamora (2023) diseñó una propuesta didáctica basada en las metodologías activas con el uso del software GeoGebra para la enseñanza-aprendizaje de las Matemáticas con la cual sostuvo un rendimiento mayor en los estudiantes.

Otra contribución importante fue la de Alcívar y col. (2019) quienes investigaron estrategias metodológicas a partir del uso del software educativo Geogebra. Consideraron la importancia del software educativo Geogebra para la generación de una enseñanza dinámica y activa de las matemáticas que permite al estudiante obtener mayores conocimientos matemáticos con el uso adecuado de esta herramienta. Sin embargo, es importante considerar las herramientas como apoyo al conocimiento sin dejar fuera la parte teórica que incluye el origen de las fórmulas y aquello que conlleva a la comprensión de las mismas.

De igual manera Fiallo y Rodríguez (2019) realizaron una propuesta de investigación cuyo interés era favorecer la enseñanza de la derivada como razón de cambio explorando diferentes representaciones simuladas por software de geometría dinámica, con las cuales los estudiantes interactuaron y lograron un aprendizaje por adaptación. El Cálculo es la base de muchas materias que requieren solución de problemas. Hablando del Cálculo Integral

Jácome y col. (2022) diseñaron, implementaron y evaluaron una actividad conformada por dos situaciones matemáticas realistas en el estudio del Teorema Fundamental del Cálculo con el uso de tecnologías digitales logrando aprendizajes significativos.

Actualmente y debido a la preocupación por los estudiantes del Nivel Medio Superior en la adquisición y fortalecimiento de las bases del conocimiento para su futura incorporación al Nivel Superior, se brinda el curso taller para el reforzamiento, la comprensión de la teoría, procedimientos, y el desarrollo de habilidades en el uso de herramientas digitales para la solución de problemas de cálculo.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El proyecto se realizó con 19 estudiantes del Nivel Medio Superior de Primer, Tercer y Quinto semestre de las especialidades de Programación, Logística, Enfermería y Electrónica con una participación de 14, 2, 2 y uno respectivamente, quienes fueron elegidos de manera aleatoria y posteriormente mediante una invitación para tomar el curso taller “La enseñanza del Cálculo apoyado en softwares Matemáticos”, impartido de septiembre a diciembre de 2022, dos horas por semana en los laboratorios del Cetis 46, los cuales estuvieron equipados con computadoras a las cuales se les instalaron las herramientas y softwares necesarios para que los estudiantes realizaran las prácticas correspondientes. El enfoque de la investigación fue cuantitativo, de tipo descriptivo-exploratorio y con un diseño no experimental transeccional.

Se aplicó una encuesta de inicio con preguntas generales referentes al conocimiento de temas de Cálculo y de las herramientas de apoyo para resolver problemas. Asimismo, se aplicó un pre-test en el que se incluyeron diez reactivos, considerando los siguientes temas: Cálculo de áreas, volúmenes y perímetros de figuras geométricas, solución de sistemas de ecuaciones lineales, elaboración de gráficas, solución de integrales, áreas bajo la curva, volúmenes de sólidos de revolución, longitud de curva y obtención de modelos matemáticos.

Tanto la encuesta de inicio y el pre-test se aplicaron en la primera sesión del curso taller.

Los temas anteriores fueron considerados de acuerdo a los Programas Educativos del Nivel Medio Superior, mismos que se desarrollaron en cada sesión, se brindó la explicación de los conceptos, procedimientos, uso de fórmulas y se adaptó de manera apropiada cada tema con herramientas digitales y softwares matemáticos, se utilizó Calculat.org, Symbolab y Wolfram Alpha, que si bien es cierto todas las herramientas digitales disponibles sirven para solucionar problemas, también lo es, que algunas son más complejas de utilizar, por ello, se adaptaron aquellas herramientas sencillas de utilizar. Dichas herramientas se muestran en la Tabla1.

<b>TEMA</b>	<b>HERRAMIENTA DIGITAL</b>
Cálculo de áreas, volúmenes y perímetros de figuras geométricas	Calculat.org
Solución de sistemas de ecuaciones lineales	Wolfram Alpha
Elaboración de gráficas	Winplot
Solución de integrales	Symbolab
Áreas bajo la curva, volúmenes de sólidos de revolución, y longitud de curva	Winplot
Obtención de modelos matemáticos	Excel

**Tabla 1.** *Temas del curso taller y herramientas de apoyo.* Se muestran los temas aplicados en el curso taller y las herramientas utilizadas en las prácticas. Elaboración propia.

Estas herramientas y softwares fueron expuestos y utilizados en las prácticas correspondientes a cada tema para comprobar las soluciones de los problemas, mismos que se resolvieron mediante el uso de fórmulas y los procedimientos tradicionales, con la finalidad de verificar la adquisición del conocimiento y las habilidades en su uso.

Al finalizar el curso se procedió a la aplicación de un pos-test en el cual se consideraron los mismos temas y número de reactivos que en el pre-test, para de esta manera poder realizar la comparación de resultados. Aunado a lo anterior se aplicó una encuesta final en la cual los estudiantes opinaron sobre la importancia de la adquisición de herramientas digitales como apoyo en el aprendizaje del cálculo y se contrastó con la encuesta de inicio. De igual manera se realizó un análisis comparativo entre el pre y el pos-test. En base a la recopilación de datos en las pruebas anteriores, se realizó un análisis comparativo haciendo uso de la estadística descriptiva.

## **RESULTADOS**

### **Encuestas de inicio (Preguntas generales)**

La figura 1 muestra los resultados obtenidos en la encuesta inicial.

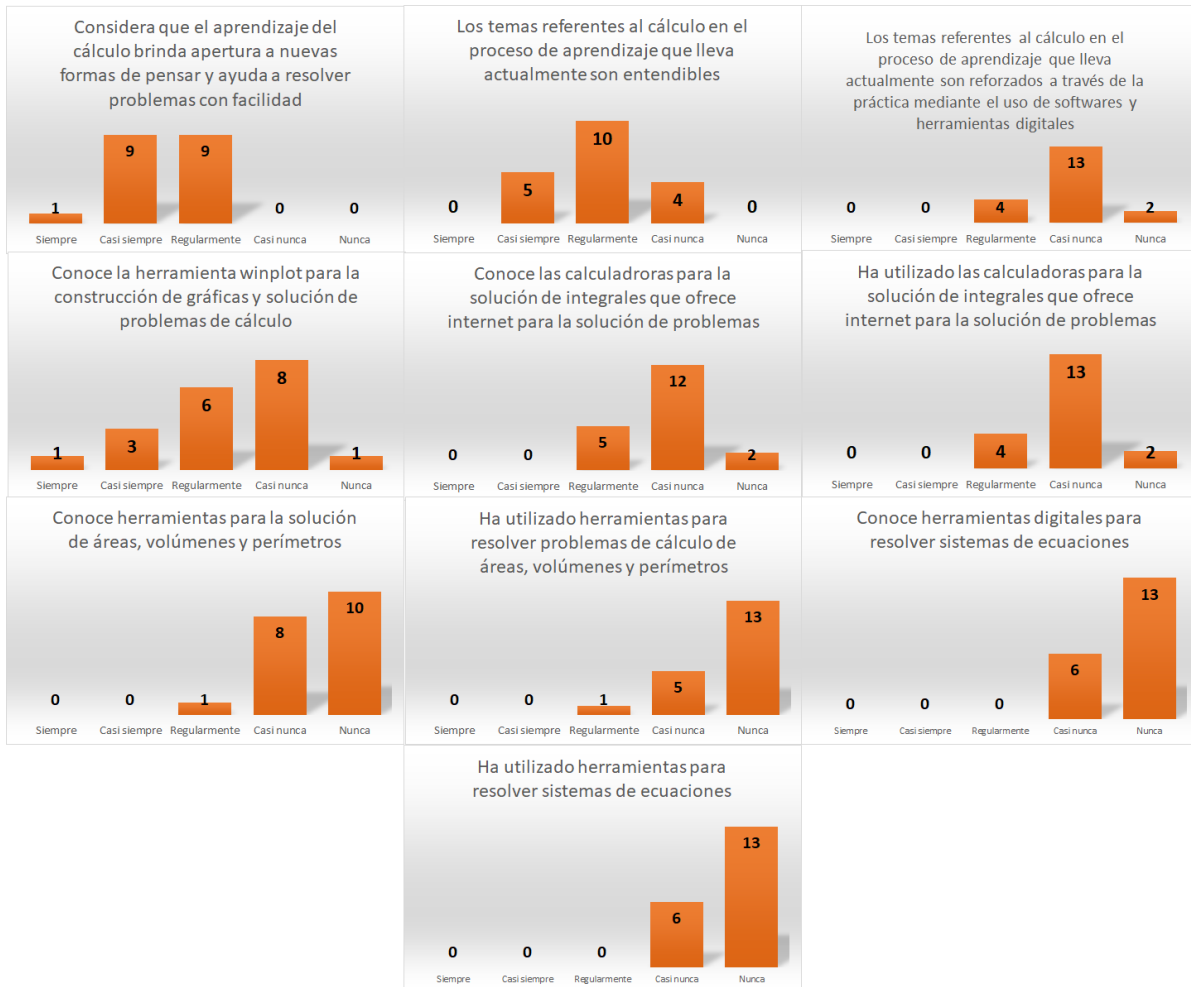


Figura 1 *Resultados obtenidos de la encuesta inicial.*: Porcentajes correspondientes a las preguntas iniciales. Elaboración propia.

Se muestra que el 47.3% de los encuestados casi siempre y siempre consideran que el aprendizaje del cálculo brinda apertura a nuevas formas de pensar y ayuda a resolver problemas.

Con respecto a los temas que los estudiantes llevaban al momento del taller, en sus estudios de preparatoria, el porcentaje mayor regularmente entendía los temas de cálculo para su aprendizaje. De acuerdo a las encuestas aplicadas a los alumnos que participaron en este

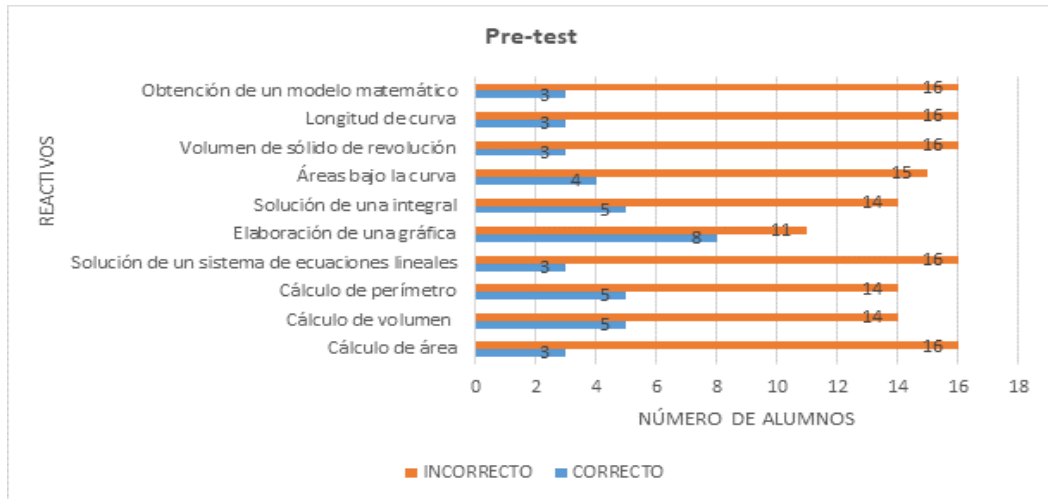
proyecto el 68.4% afirmó que los temas de cálculo que llevaban en ese momento no eran reforzados con la práctica y el uso de softwares y herramientas digitales.

Para el desarrollo del curso se consideraron algunas de las herramientas digitales que refuerzan la práctica del cálculo. Una de estas herramientas fue el winplot. Respecto a lo anterior, en la encuesta de inicio se preguntó a los alumnos si era de su conocimiento dicha herramienta, el porcentaje mayor la desconocía y el porcentaje que la conocía no sabía utilizarla. Asimismo, se cuestionó sobre el conocimiento de las calculadoras para resolver integrales en el cual el porcentaje mayor cuya respuesta fue casi nunca. Referente al uso de las calculadoras para la solución de integrales se destaca un 68% que casi nunca hicieron uso de esta herramienta.

Con respecto al conocimiento de herramientas para calcular áreas, volúmenes y perímetros los datos arrojaron que el 52.6% desconocía dichas herramientas y el 68.4% nunca había usado estas herramientas. De igual manera, consideraron las herramientas para resolver los sistemas de ecuaciones donde se muestra que el porcentaje mayor nunca habían conocida estas herramientas, mientras que el mismo porcentaje nunca las habían utilizado.

### **Pre-test (Conocimientos previos)**

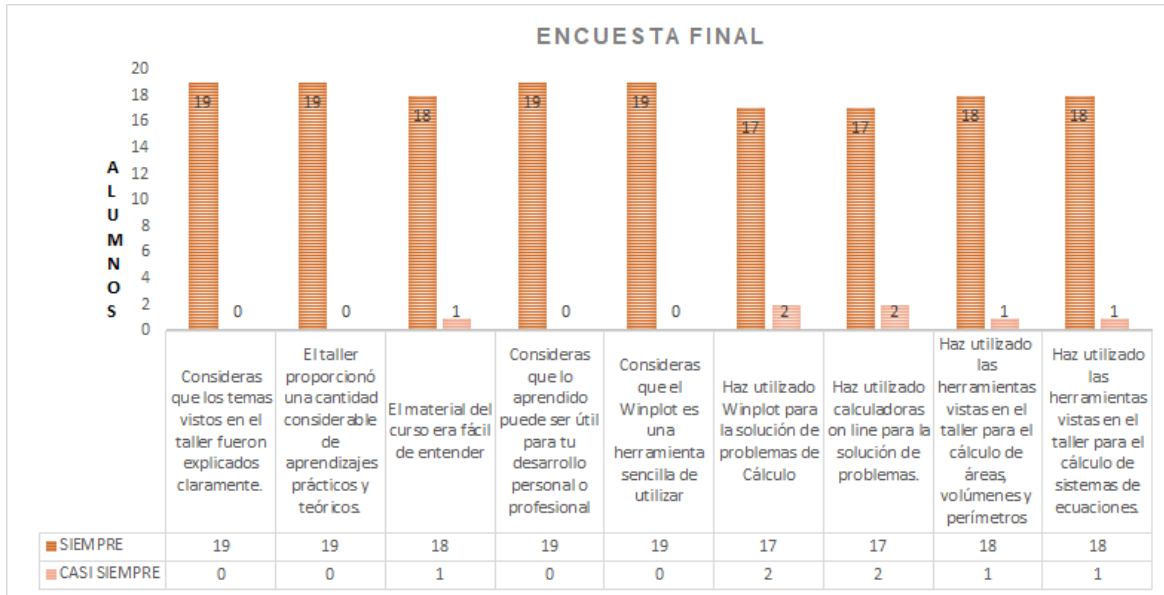
Los resultados arrojados en el pre-test corresponden a los conocimientos previos de los alumnos, éstos se muestran en la figura 2, donde se observan la cantidad de alumnos y los reactivos correctos e incorrectos en cada uno de los temas y en la que destacan la mayoría de los reactivos como incorrectos.



**Figura 2.** Resultados obtenidos en el pre-test.: Se muestra el número de alumnos y los reactivos correctos incorrectos por tema. Elaboración propia.

### Encuesta final

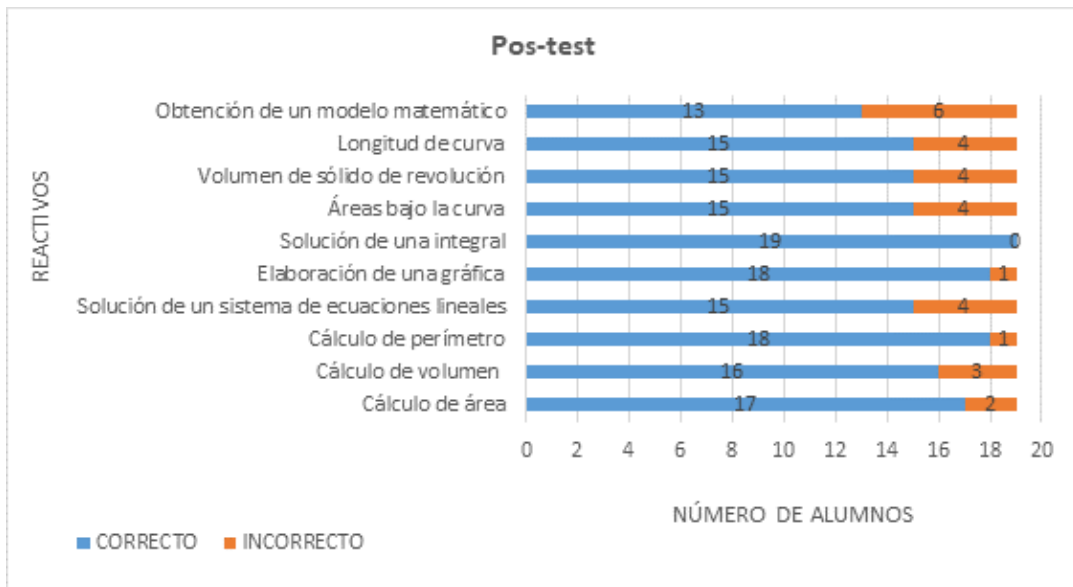
Al término del curso y después de haber contestado el post- test se aplicó una encuesta final para contrastarla con la de inicio. Los resultados se muestran en la figura 3, donde se puede observar la cantidad de alumnos que contestaron cada pregunta con la opción de siempre y casi siempre. Se aprecia que el 100% de los estudiantes consideraron que los temas vistos en el taller fueron explicados claramente, les proporcionó una cantidad considerable de aprendizajes prácticos y teóricos como el uso de la herramienta winplot. Asimismo, consideraron que lo aprendido podría ser útil en su desarrollo profesional.



**Figura 3.** Resultados obtenidos después de la impartición del curso-taller: La gráfica muestra los resultados obtenidos de acuerdo a la encuesta aplicada al final de la impartición del curso taller. Elaboración propia.

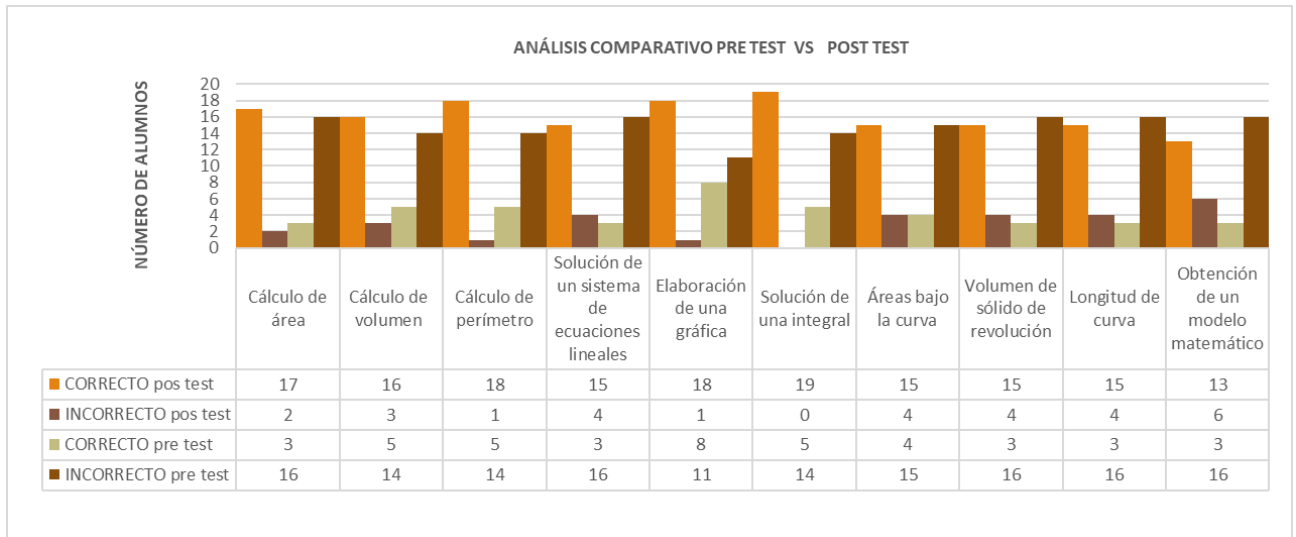
### Pos-test (Conocimientos adquiridos)

Se obtuvieron resultados del pos-test referente a los conocimientos adquiridos al finalizar el curso taller, lo cual se puede apreciar en la figura 4, donde en mayor porcentaje aparecen los reactivos correctos.



**Figura 4.** Resultados obtenidos en el pos-test.: Se muestra el número de alumnos y los reactivos correctos incorrectos por tema. Elaboración propia.

De igual manera en la figura 5 se muestra un análisis comparativo de los resultados obtenidos en el pre-test y post-test, en el cual se aprecia una diferencia significativa entre el número de reactivos correctos e incorrectos. En el pre-test se observa que el 22.10% de los reactivos fueron correctos y el 77.89% incorrectos, mientras que, en el pos-test, se obtuvieron el 84.74% y 15.26% de los reactivos correctos e incorrectos respectivamente.



**Figura 5.** *Análisis comparativo pre-test, pos-test.*: Se muestra el número de alumnos y los reactivos correctos incorrectos por tema en ambos test. Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados de la encuesta de inicio donde se plantearon cuestiones sobre el conocimiento y uso de las herramientas digitales, se evidenció un porcentaje considerable de que los estudiantes conocían las herramientas, pero no las habían utilizado como apoyo a la solución de problemas.

Con respecto al comparativo del pre y pos-test, se observó que en el post-test, aumentó considerablemente el número de aciertos con respecto al pre-test. Por lo que de acuerdo a las cifras obtenidas se puede sugerir el uso de herramientas para complementar la enseñanza del cálculo ya que ello puede apoyar en gran medida a la solución y comprensión de problemas matemáticos.

## CONCLUSIONES

Existen distintas formas de compartir el conocimiento a los alumnos, de las cuales depende el hecho de poder asimilarlo, por lo que es hasta cierto punto obligada la búsqueda de nuevos recursos que aporten en gran medida la posibilidad de facilitar el entendimiento de los temas,

en particular la enseñanza del cálculo. El desarrollo de la práctica apoyada con herramientas digitales puede favorecer el aprendizaje significativo. Lo anterior se pudo constatar al término del curso de taller, en el cual los alumnos afirmaron que este curso fue muy enriquecedor ya que al término del mismo pusieron en práctica lo visto, lo cual se vio reflejado en los resultados del pos-test contrastado con los del pre-test. Así mismo existe la disposición de los estudiantes para participar en un segundo taller el cual forma parte de un próximo proyecto de vinculación con el Nivel Medio Superior.

## AGRADECIMIENTOS

Al Centro de Estudios Tecnológicos, Industriales y de Servicios No. 46 (CETIS 46) por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este proyecto.

Al Instituto Tecnológico Superior de Monclova por apoyar este tipo de proyectos.

## REFERENCIAS

Alcívar Castro, E., Zambrano Alcívar, K., Párraga Zambrano, L., Mendoza García, K., & Zambrano Villegas, Y. (2019). Geogebra Educational Software. Proposal Of Methodological Strategy To Improve The Learning OF MATHEMATICS. *Universidad Ciencia Y Tecnología*, 23(95): 59-65.  
<https://uctunexpo.autanabooks.com/index.php/uct/article/view/247>

Barradas Arenas, U. D. (2021). Recursos digitales como apoyo en la enseñanza del cálculo. *RIDE. Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo*, 12(23). <https://doi.org/10.23913/ride.v12i23.1040>

Fernández, I., Riveros, V., & Montiel, G. (2017). Software educativo y las funciones matemáticas. Una estrategia de apropiación. *Omnia*, 23(1): 9-19.

Fiallo, J., & Rodríguez, G. (2019). Situaciones a-didácticas para la enseñanza de la derivada como razón de cambio mediante el uso de software de geometría dinámica. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, 32(2): 141-149.

Jácome Anaya, I. J., Fiallo Leal, J. E., & Parada Rico, S. E. (2022). Un acercamiento al Teorema Fundamental del Cálculo a través de la Matemática Realista. *Educación matemática*, 34(1): 280-305. <https://doi.org/10.24844/em3401.10>.

Velasteguí López, L. E., Rodríguez Revelo, E., Henríquez Antepara, E. J., Campoverde Méndez, M. R., & Ortiz Aguilar, W. (2021). Softwares matemáticos en las carreras de ingeniería: una estrategia para su implementación. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(4): 320-327. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2218-36202021000400320](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2218-36202021000400320)

Zamora García, J. L. (2023). *Propuesta didáctica basada en las metodologías activas a través del uso del software GeoGebra para la enseñanza-aprendizaje de las matemáticas* [Tesis de Maestría, Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional obtenido de <https://repositorio.pucese.edu.ec/handle/123456789/3343>

***La Estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad Emergente  
de Investigación: Un Enfoque Interdisciplinario Innovador  
para la Generación de Conocimiento.***

***The Cybercultur@ Strategy and the Emerging Research  
Community: An Innovative Interdisciplinary Approach to  
Knowledge Generation.***

**María Magdalena Gómez Guijarro, José Soto Balderas, Jesús Abraham  
Salazar Valadez**

Facultad de Ciencias Políticas y Sociales/UAdC  
Carretera Torreón-Matamoros KM 7.5 Ejido El Águila  
Cd. Universitaria Torreón, Coahuila  
C.P. 27087. Tel. (871)7168716

**Correspondencia para autor:  
María Magdalena Gómez Guijarro  
Universidad Autónoma de Coahuila  
mgg11890@uadec.edu.mx  
Cel. (871) 3536754  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1663-4094>**

## Resumen

En este artículo, se presenta una innovadora estrategia fundamentada en la cibercultur@ y la teoría de los sistemas complejos para impulsar la formación y desarrollo de una Comunidad emergente de investigación. Esta comunidad, conformada por investigadores de diversas disciplinas y perspectivas, busca transformarse en una red sistemática inteligente capaz de abordar problemáticas complejas y generar conocimiento interdisciplinario. Se describe el proceso de diseño y organización de la Comunidad Emergente de Investigación “Noas” (CEI “Noas”) de la Universidad Autónoma de Coahuila, México, resaltando la importancia de cultivar las culturas del conocimiento, información y comunicación, y promover la inteligencia distribuida. Se destaca la conexión entre esta estrategia y la propuesta del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja (LabCOMplex) para la construcción de redes sistémicas inteligentes. Además, se subraya la necesidad de establecer un marco epistémico y metodológico común, así como la colaboración en la construcción de objetos de investigación interdisciplinaria. A través de esta estrategia, se busca potenciar la capacidad de investigación y resolver problemas de relevancia social. Las ventajas y limitaciones de esta propuesta son discutidas, brindando una visión integral de su aplicabilidad y potencial impacto. En conclusión, la estrategia de la cibercultur@ en conjunto con la Comunidad emergente de investigación emerge como un enfoque interdisciplinario novedoso y prometedor para la generación de conocimiento en un entorno complejo y cambiante.

Palabras clave: Cibercultur@, Investigación interdisciplinaria, Comunidades Emergentes, Sistemas complejos.

## Abstract

In this article, an innovative strategy based on cibercultur@, and the theory of complex systems is presented to promote the formation and development of an emerging Research Community. This community, made up of researchers from various disciplines and perspectives, seeks to become an intelligent systematic network capable of addressing complex problems and generating interdisciplinary knowledge. The design and organization process of the Emerging Research Community “Noas” from the Autonomous University of Coahuila, Mexico, is described, highlighting the importance of cultivating cultures of knowledge, information, and communication, and promoting distributed intelligence. The connection between this strategy and the proposal of the Complex Communication Research and Development Laboratory (LabCOMplex) for the construction of intelligent systemic networks is highlighted. In addition, the need to establish a common epistemic and methodological framework is underlined, as well as

collaboration in the construction of interdisciplinary research objects. Through this strategy, it seeks to enhance the research capacity and solve problems of social relevance. The advantages and limitations of this proposal are discussed, providing a comprehensive view of its applicability and potential impact. In conclusion, the strategy of the cibercultur@ in conjunction with the emerging Research Community emerges as a novel and promising interdisciplinary approach for the generation of knowledge in a complex and changing environment.

Keywords: Cibercultur@, Interdisciplinary research, Emerging Communities, Complex systems.

*“Quién no se acerque con inquietud a la comprensión y el dominio de las ‘nuevas ciencias’ cómo ciencias de la complejidad no sólo no entenderán (y practicará mal) el quehacer tecnocientífico sino el artístico y el político”.*

Pablo González Casanova

## **Introducción**

Desde la década de los años 60, los desafiantes y profundos problemas sociales, políticos, económicos, ambientales y culturales han asumido un papel central en el desarrollo y el bienestar humano. Estas cuestiones han sido objeto de análisis desde diversas perspectivas por parte de la investigación académica.

Al mismo tiempo, la investigación disciplinaria ha sido objeto de debate en relación con su utilidad para comprender y explicar problemas y fenómenos causados por diversos factores heterogéneos e interdependientes. (Bertalanffy, 1976) pone en cuestión el método de la ciencia tradicional que buscaba separar componentes del universo observado con la intención de reconstruir la totalidad a partir de dichos componentes. Se argumenta que, para lograr la comprensión, no es suficiente

examinar los elementos individuales, sino que resulta fundamental comprender las conexiones entre ellos.

Frente a esta crítica, los enfoques basados en la noción de sistema buscan superar dichas limitaciones. Se exploran nuevas formas, métodos, procedimientos y técnicas que cuestionan el paradigma del método científico único para abordar problemas y fenómenos complejos.

Esta concepción sistémica ha dado origen a diversas corrientes, incluido un resurgimiento en la lectura y análisis de sistemas complejos. Entre estas perspectivas se encuentran las contribuciones de Prigogine en el ámbito de la física y la termodinámica, así como las propuestas de Niklas Luhmann desde las ciencias sociales y otras perspectivas matemáticas, biológicas y multidisciplinarias, como las emanadas del Instituto de Santa Fe. Se destacan, además, enfoques originales en México, como la perspectiva dinámico-estructural y la perspectiva constructivista cuyos orígenes se encuentran en los trabajos de Jean Piaget (Ramírez, 1999).

Con respecto a lo anterior (González, 2005), asienta lo siguiente:

Se ha observado un considerable aumento en la cantidad de estudios que adoptan una perspectiva de complejidad, llegando incluso a un notable apogeo. En la actualidad, el enfoque de complejidad en la comprensión de fenómenos y problemáticas caracterizados por múltiples interconexiones se aborda en diversas y destacadas áreas científicas y disciplinas. Entre ellas, destacan las ciencias computacionales, ingenierías, matemáticas, medicina, ciencias sociales, física, astronomía, bioquímica, genética, biología molecular, química, ciencias de los materiales, ciencias agrícolas, ciencias medioambientales, ciencias planetarias y terrestres, artes, humanidades, negocios, gestión, ciencias de la toma de decisiones y neurociencias, entre otras.

González, (2005) resalta la manera en que los países desarrollados han tratado y afrontado estas cuestiones, poniendo énfasis en la creación y progreso de las

tecnociencias y ciencias de la complejidad, que se asocian con sistemas intrincados y autorregulados. Estas áreas del conocimiento van más allá de la mera colaboración para solucionar desafíos que involucran procesos diversos e interconectados, lo que conlleva a enfoques originales en su investigación y comprensión. Habría que decir también, que este conjunto de interconexiones se percibe como un sistema complejo, que representa una selección o recorte específico de la realidad.

En esta situación, resalta el creciente requerimiento de trabajar en equipos multidisciplinarios, donde expertos de diferentes campos deben unirse, adoptar un lenguaje compartido e incluso adentrarse en áreas interdisciplinarias de especialización. (González, 2005), establece el problema en estos términos, la aparición de "las nuevas ciencias" relacionadas con sistemas autorregulados y complejos, así como las ideas emergentes sobre el caos, va más allá de simplemente intentar solucionar los desafíos de colaboración entre diferentes campos. Estas disciplinas emergentes brindan nuevas oportunidades para analizar sistemas en su totalidad y las interconexiones entre sus componentes.

Sin embargo, todavía existen desafíos en la aplicación del enfoque de la interdisciplina al análisis de fenómenos y desafíos complejos, ya que persiste un modelo que da mayor importancia a la disciplina individual o, en su lugar, a la multidisciplinaria. Esto dificulta la reestructuración teórica y metodológica necesaria para impulsar la investigación interdisciplinaria estimulada por las modernas disciplinas de la complejidad. La fragmentación en disciplinas enfrenta la posibilidad de generar dificultades en la comunicación y de influir negativamente en la comprensión completa de la realidad que se pretende explorar y cambiar. Por lo tanto, es fundamental implementar una estructura y organización apropiada para afrontar los desafíos complejos mediante la colaboración y cooperación entre diversas disciplinas (González, 2005).

En este escrito, se reflexiona sobre la estrategia de organización de grupos de investigadores que abordan problemáticas complejas. Se propone la explicación del

método para abordar problemas complejos desde la perspectiva interdisciplinaria de sistemas complejos, utilizando la estrategia de cibercultur@. Para explorar a mayor profundidad los problemas complejos, es necesario abordar la complejidad organizada y su conocimiento. Una alternativa potencial en este ámbito es la investigación interdisciplinaria de sistemas complejos (García, 1986; García y col., 1988; García, 2000; García, 2006; Ortiz y Duval, 2008; Duval, 2008; Rodríguez y Rodríguez, 2014), que puede complementarse con estrategias de cibercultur@. Esta última estrategia se fundamenta en el desarrollo de tres culturas: el conocimiento, la información y la comunicación. Dichos procesos se fortalecen a través de la formación de comunidades emergentes de conocimiento, la colaboración en red y el uso de tecnologías de la información como plataforma para la generación de conocimiento y la construcción de sistemas de investigación interdisciplinaria.

Este documento tiene como objetivo exponer los principios del enfoque teórico metodológico de la cibercultur@, el cual ha sido desarrollado e impulsado por el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja (LabCOMplex) de la Universidad Nacional Autónoma de México. Además, describir la estrategia de la cibercultur@ de una comunidad emergente de investigación conformada por maestros, investigadores y estudiantes de la Universidad Autónoma de Coahuila, como un enfoque Interdisciplinario innovador para la generación de conocimiento.

### **La perspectiva teórica metodológica de la Cibercultur@.**

Diferenciando cibercultura de cibercultur@. Aunque es cierto que los estudios sobre cibercultura surgieron en los años sesenta, fue a partir de los años noventa que esta disciplina comenzó a adquirir relevancia en los análisis de lo digital. La cibercultura (sin arroba) es generalmente reconocida como el análisis de la cultura digital, que abarca la utilización del ciberespacio, la proliferación de computadoras en red, la aplicación de software multiusuario e Internet. Fundamentalmente, la cultura digital constituye un conjunto en evolución de valores, prácticas y perspectivas acerca de

cómo los individuos deben desenvolverse e interrelacionarse en la sociedad actual altamente conectada (Deuze, 2006).

Desde esta perspectiva, la cultura digital se concentra en las características novedosas que producen un efecto inmediato y cambian la manera en que empleamos y atribuimos significado a nuestra existencia en un entorno global cada vez más interconectado. En la actualidad, la investigación en cibercultura tiene una presencia predominante en disciplinas tales como las ciencias sociales, humanidades, ciencias de la computación, ingeniería, matemáticas, medicina, negocios, administración y psicología, y en menor proporción en campos como la economía, neurociencias, física y ciencias de la tierra (Deuze, 2007).

Es necesario destacar la distinción entre la cibercultura mencionada anteriormente y la cibercultur@ con arroba. En este contexto, la cibercultur@ es un enfoque novedoso con características bien definidas, lo cual es el tema central de este estudio.

La cibercultur@ es una perspectiva teórico-metodológica que está siendo desarrollada y construida por el Laboratorio de Comunicación Compleja (LabCOMplex), fundamentada en los principios de la epistemología genética constructivista. Este es un programa de investigación permanente que abarca dos enfoques: en primer lugar, como un tema de análisis teórico que persigue la intersección entre las culturas de información, comunicación y conocimiento; y, en segundo lugar, como un factor impulsor del crecimiento y avance de grupos y redes de investigación (Maass y col., 2012).

Los autores mencionados explican que esta propuesta surge de la colaboración entre comunicólogos como Jorge González (2008) y Jesús Galindo (2006), quienes a finales de los años noventa comenzaron diversas colaboraciones con José A. Amozurrutia, ingeniero químico especializado en sistemas de información. En colaboración, llevaron a cabo proyectos utilizando sistemas de información y aplicaron técnicas de investigación social de segundo orden, reconocidas como enfoques cualitativos (Maass y col., 2012). En 2004, LabCOMplex se unió al Centro

de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH) de la UNAM.

El concepto de cibercultur@ es un neologismo utilizado en los trabajos de investigación del LabCOMplex y se refiere a "un sistema social que se retroalimenta positivamente a partir del cultivo de la comunicación, la información y el conocimiento, capaz de observar, cuestionar, comprender y transformar su entorno según las necesidades y deseos de posibles mundos de una comunidad social que se ve a sí misma como colectivo" (Maass y col., 2012). A lo largo de este lapso, LabCOMplex consolidó sus principios epistemológicos en colaboración con Rolando García, al mismo tiempo que realizaba estudios prácticos enfocados en la creación de Comunidades Emergentes de Investigación (CEI) y, más adelante, Comunidades Emergentes de Conocimiento Local (CECL) (Maass y col., 2012).

La cibercultur@, como estructura teórico-metodológica, establece su perspectiva en diversos escritos. En el libro "Cibercultura, un mundo emergente y una nueva perspectiva" de Jesús Galindo, se examina cómo la cibercultura crea y moldea novedosas maneras de interacción social entre personas, convirtiéndose en un elemento central para la interpretación cultural. Galindo la considera como "un espacio de relaciones humanas y configuración de redes, cargado de perspectivas teóricas novedosas y complejidad del pensamiento contemporáneo" (Galindo, 2006).

De manera coherente, en el libro "Cibercultur@ e iniciación a la investigación" escrito por Jorge González, José Amozurrutia y Margarita Maass, exponen los fundamentos teóricos y prácticos para empezar, desarrollar y aplicar el enfoque teórico-metodológico de la cibercultur@. En este trabajo se sugieren investigaciones desde una perspectiva innovadora basada en la formación de procesos de inteligencia distribuida, fomentada por un cambio en la mentalidad con respecto a la construcción del conocimiento y el uso extensivo de plataformas generadoras de conocimiento, información y comunicación. Además, se resaltan los propósitos esenciales de la cibercultur@: "Por lo tanto, para activar la cibercultur@

en la sociedad en su conjunto, se requiere el desarrollo y la renovación de tres culturas: la de información, la de comunicación y la de conocimiento. Un esfuerzo que, al realizarse colectivamente, contribuye a rediseñar las ecologías simbólicas desde estudiantes y profesores hasta las comunidades más desfavorecidas, reconstruyendo sus relaciones, generalmente negativas hacia el componente tecnológico" (González y col., 2007)

En trabajo "*Cibercultur@ como actividad interdisciplinaria hacia lo complejo*", José Amozurrutia propone la aplicación de la actividad interdisciplinaria como estrategia para enfrentar la complejidad y desarrollar investigaciones. Define la cibercultur@ como el "arte de guiar y desarrollar mayores grados de autodeterminación en acciones colectivas dentro de grupos sociales... que permitan abordar lo complejo en los problemas que enfrentan grupos de investigación" (Amozurrutia, 2010)

En una síntesis de la cibercultur@, González (2013), presenta una estrategia teórico-metodológica relevante para la investigación social basada en la cibercultur@, en su artículo "*El desarrollo de cibercultur@ en proyectos de conocimiento: hacia una comunidad emergente de investigación*", publicado en el libro "*Metodología de investigación en ciencias sociales. Aplicaciones prácticas*" (Chávez y col., 2013), González establece los cimientos de la estrategia de la cibercultur@ en la creación de proyectos de indagación social, ofreciendo una propuesta novedosa para llevar a cabo la investigación interdisciplinaria con equipos compuestos por distintas áreas de conocimiento.

El escritor mencionado parte del supuesto de que emprender un proyecto de investigación constituye un reto que requiere abordar una serie de dificultades, que van desde la clarificación de metas hasta la asignación de recursos, la administración temporal y la conformación del grupo de investigadores. González expone que, "en la cultura de investigación convencional caracterizada por individualismos e improvisación, la formación sostenible de capacidad de investigación no es la norma, y aún no se ha comprendido completamente la

necesidad y ventajas de hacerlo, y las políticas impuestas por los gobiernos neoliberales en México tampoco parecen ofrecer soluciones” (González, 2013).

De acuerdo con los autores examinados (González, 2003; González y col., 2007; Maass y col., 2012) es posible formular los principales postulados de la cibercultur@ en los siguientes términos:

1. Las formas en que nos organizamos socialmente para generar conocimiento se encuentran integradas en el propio producto del conocimiento. Estas formas están preconstruídas a partir de experiencias y trayectorias de vida individuales y se basan en el sentido común sobre cómo organizarse.
2. La cibercultur@ se esfuerza por establecer redes que incrementen la masa crítica de generadores de información y comunicación, dignificando la labor de investigación y fomentando una relación horizontal entre diversos grupos sociales. Además, busca poner las tecnologías digitales y de información al servicio de las personas en lugar de lo contrario.
3. Para promover la cibercultur@ en la sociedad en su conjunto, se requiere desarrollar y cultivar tres culturas esenciales: la cultura de la información, la de la comunicación y la del conocimiento. Este esfuerzo colectivo contribuye a transformar las ecologías simbólicas desde estudiantes y profesores hasta comunidades socialmente desfavorecidas, reconstruyendo sus relaciones con la tecnología.
4. El desarrollo de la cibercultur@ implica el cultivo de tres competencias cognitivas fundamentales para la especie humana: información, comunicación y conocimiento. Estas competencias se pueden desarrollar de manera provechosa en equipos de investigación que trabajen en procesos de inteligencia distribuida, estimulación, conectividad y consistencia.
5. Iniciarse en la investigación mediante el desarrollo de la cibercultur@ implica enfrentar el desafío de utilizar las tecnologías de información y comunicación como plataformas generativas de conocimiento, además de cultivar las competencias de información, comunicación y conocimiento.

6. El esfuerzo y el tiempo invertidos en el desarrollo de la cibercultur@ se traducen en la creación de comunidades emergentes de conocimiento que pueden transformarse en redes gracias a las tecnologías disponibles.
7. El desarrollo de la cibercultur@ implica un cambio en las culturas de información, comunicación y conocimiento de los participantes en la CEC. Este cambio se logra mediante la creación y operación de sistemas de información, comunicación y conocimiento diseñados de manera colaborativa y conectados en una red horizontal.
8. Para lograrlo, es esencial adoptar una política de escucha activa hacia los problemas, desventajas y ventajas de las comunidades, permitiendo un diálogo entre las herramientas académicas y las necesidades de las poblaciones para potenciar su inteligencia y capacidad de transformación.
9. Este enfoque novedoso de acción posibilita una transformación colaborativa del mundo en lugar de simplemente interpretarlo.

Estas ideas teóricas poseen la capacidad de impactar en la formación y desarrollo de comunidades emergentes de investigación, sirviendo como vehículo para establecer redes y equipos de investigación que se enfoquen en abordar desafíos complejos.

### **El Proceso de Cibercultur@ y la formación de una Comunidad emergente de investigación (CEI)**

De acuerdo con los fundamentos y las fuentes citadas, una Comunidad emergente de investigación se caracteriza como una red inteligente y abierta para la producción de conocimiento, la cual reúne a investigadores individuales, equipos o nodos de investigadores conectados entre sí. Estas unidades de indagación se basan en una cultura de conocimiento, información y comunicación, fomentando la evolución de procesos de inteligencia distribuida. Además, un nodo se visualiza como una entidad entrelazada que opera como una parte de un sistema en red abierto (González, 2013).

El enfoque primordial, también considerado como una estrategia de avance de la cibercultur@, se origina en un principio esencial para estructurar una comunidad y crear conocimiento. "Las formas sociales en que nos organizamos para generar conocimiento quedan inscritas en el producto mismo del conocimiento. Estas formas son componentes preconstruidos sobre la manera y el sentido común de cómo organizarse, las cuales se originan en la experiencia y en la trayectoria de vida de cada uno de los elementos participantes" (González, 2013). El autor resalta que las estructuras convencionales de organización que impactan en nuestras relaciones con los demás se definen por:

- Principalmente, son verticales en su naturaleza y provienen de una autoridad superior, ya sea con o sin justificación. Estas configuraciones están subordinadas a influencias externas y pueden imponer decisiones que provienen de fuera del conjunto organizado.
- Frecuentemente, estas estructuras de organización impuestas exhiben diversos niveles de violencia simbólica, que en algunas situaciones no son evidentes de manera directa, pero que establecen directivas y limitaciones encubiertas.
- Las estructuras de organización que se sustentan en estas particularidades tienden a ser convencionales y tradicionales, buscan reducir al mínimo las diferencias entre los elementos involucrados en el proceso de investigación.

En otras palabras, estas estructuras de organización se definen por ser jerárquicas, verticales, impuestas y con frecuencia autoritarias. A pesar de que pueden ser eficaces en cuanto a eficiencia y recursos restringidos, no promueven una red inteligente capaz de conducir investigaciones de forma adaptable y flexible en distintas situaciones (González, 2013).

En contraste con estas estructuras convencionales de organización, el objetivo de una comunidad emergente de investigación radica en crear una red inteligente de colaboración para la investigación. Así pues, uno de los propósitos claramente

definidos de la cibercultur@ consiste en cambiar estas estructuras convencionales de organización y promover vínculos horizontales de apoyo y colaboración entre los integrantes de la red. Dentro de este contexto, el funcionamiento de una comunidad emergente de conocimiento e investigación se sustenta en el fortalecimiento de modos de organización cuyo propósito es:

- Incrementar la habilidad del equipo de investigadores y de cada miembro de la comunidad para diferenciar e integrar perspectivas y enfoques en el análisis de los objetos de estudio.
- Potenciar la generación, almacenamiento y procesamiento de información en el grupo.
- Posibilitar el establecimiento de vínculos de segundo orden entre distintos niveles de fenómenos.
- Asumir y aumentar conscientemente la intensidad y la calidad de las relaciones que conforman la estructura del grupo.
- Fomentar las diferencias como fortalezas para examinar los objetos de investigación desde diversas perspectivas.
- Compartir y difundir la información generada en los proyectos a través de diversos mecanismos de conectividad.
- Reforzar la capacidad de descentración de la disciplina.
- Para configurar una red sistémica inteligente con estas características, se reconocen tres procesos interrelacionados: el desarrollo de la cibercultur@, la inteligencia distribuida y la expansión de la llamada zona de desarrollo próximo. Estos procesos están interconectados, es decir, son mutuamente dependientes.

Estos procesos y sus etapas se basan en el concepto de desarrollo de la cibercultur@ presentado y discutido por (González y col., 2007): “Desarrollar cibercultur@ se refiere a cultivar tres competencias cognitivas comunes a toda nuestra especie humana, pero cuya apropiación y dominio dependen de diferentes

variables sociohistóricas y de distribuciones geopolíticas desiguales". Este proceso implica el fomento de las culturas del conocimiento, la información y la comunicación. Esta perspectiva se entrelaza con el desarrollo de la inteligencia distribuida y la expansión de la zona de desarrollo próximo.

En este sentido "Un proceso de desarrollo de inteligencia distribuida implica que un grupo sea capaz de integrarse para aumentar su capacidad y resolver problemas concretos en situaciones determinadas mediante el uso de diferentes artefactos culturales que mejoren su interacción, especialmente su capacidad para plantear preguntas pertinentes y la habilidad para encontrar respuestas" (González, 2013).

El mismo autor agrega: "Para que estos procesos ocurran, el equipo debe desarrollar tres subprocesos interconectados y continuos, en otras palabras, tres momentos del mismo proceso constructivo en forma de red inteligente de trabajo. Estos momentos son: estimulación, conectividad y consistencia".

Estos tres subprocesos guardan una fuerte conexión con la ampliación de la zona de desarrollo próximo (ZDP) tanto de cada investigador involucrado como del conjunto de investigadores. Esto significa que cada investigador en la red extiende el rango de problemas que puede abordar con la asistencia de la experiencia de los otros (González, 2013).

Con esta estrategia también se propone que cualquier aumento en la zona de desarrollo próximo de un investigador resulte en una mejora en la capacidad conjunta para solucionar problemas de la comunidad emergente.

De este modo, estos procesos aportan al aumento de los niveles de competencia tanto del investigador particular como de la red en su totalidad para crear, preservar y procesar información a través de la utilización de tecnologías concebidas para manejar sistemas de información, comunicación y conocimiento, además de establecer plataformas generadoras de conocimiento.

Una vez presentadas las principales características del fundamento teórico-metodológico de la estrategia de cibercultur@, específicamente en la construcción

de una comunidad emergente de investigación, analizamos las experiencias en el desarrollo de la Comunidad Emergente de Investigación “Noas”.

### **La activación de la Comunidad emergente de investigación “Noas” en el contexto de la Cibercultur@.**

La Comunidad Emergente de Investigación “Noas” (CEI) inauguró oficialmente sus actividades el 28 de agosto de 2015. Los precedentes que dieron forma a la CEI son los siguientes:

En septiembre de 2014 se convocó y organizó el Seminario-Taller Permanente de Investigación y Formación Interdisciplinaria. Este seminario fue convocado por miembros del Cuerpo Académico Política y Sociedad de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, junto con el Cuerpo Académico Viabilidad Sustentable de la Edificación de la Escuela de Arquitectura. Se unió a esta convocatoria el Cuerpo Académico de Fiscalidad Multidisciplinaria y Sustentabilidad de la Facultad de Administración Fiscal y Financiera. Este seminario se concibió como un espacio abierto de reflexión y colaboración entre profesores, investigadores y estudiantes, orientado al desarrollo de investigaciones, asesoramiento de tesis y discusión sobre la investigación interdisciplinaria y los sistemas complejos, con la meta de generar proyectos de investigación colaborativos.

El objetivo central del Seminario-Taller Permanente de Investigación y Formación Interdisciplinaria fue reunir a un grupo multidisciplinario con interés en la investigación interdisciplinaria. Las sesiones de este seminario taller tuvieron lugar entre octubre de 2014 y febrero de 2015.

En febrero de 2015, se dio inicio a una segunda fase del Seminario-Taller de Investigación y Formación Interdisciplinaria, con el propósito de establecer las bases para la creación de una red de investigación fundamentada en los principios de las Comunidades Emergentes de Investigación (CEI) y centrada en la investigación interdisciplinaria, basada en la teoría de sistemas complejos (García, 2006).

En junio de 2016, los Cuerpos Académicos de Política y Sociedad de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Viabilidad Sustentable de la Edificación de la Escuela

de Arquitectura, Fiscalidad Multidisciplinaria y Sustentabilidad de la Facultad de Administración Fiscal y Financiera, junto con investigadores independientes, firmaron un convenio de colaboración para "desarrollar e integrar redes de colaboración intra e interinstitucional con objetivos comunes para consolidar líneas de investigación, trabajo académico colaborativo y contribuir a la optimización de los recursos económicos, lo que impactaría significativamente en el fortalecimiento de los cuerpos académicos y los beneficios institucionales". En este convenio se acordó llevar a cabo actividades conjuntas como seminarios, cursos, talleres, simposios y diplomados en áreas educativas, de desarrollo social y en campos de las ciencias sociales, administrativas, arquitectónicas, ingenieriles y de sustentabilidad, así como promover la formación de equipos en redes de investigadores.

A partir del Primer Encuentro de Investigadores e Investigadoras, organizado por la Coordinación Unidad Torreón en agosto de 2015, participamos en el Taller Construcción de Objetos de Estudio, impartido por el Dr. Jorge González. A través de este taller, se reavivó el entusiasmo por la formación de una Comunidad Emergente de Investigadores en la Universidad Autónoma de Coahuila de la Unidad Torreón (UAdeC UT), con la intención de estar conectados como un nodo en la Red Inteligente del LabCOMplex, perteneciente al Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades (CEIICH) de la UNAM.

Posteriormente, durante el Segundo Encuentro de Investigadores e Investigadoras (10 de febrero de 2016), organizado en la UAdeC UT, se sumaron y firmaron el convenio de colaboración los cuerpos académicos de Ingeniería Civil Sustentable de la Facultad de Ingeniería Civil, Estudios Estratégicos de Economía de la Facultad de Economía y Estrategia y Gestión Corporativa de la Facultad de Administración Fiscal y Financiera.

El 28 de agosto de 2015, como ya se ha mencionado, se estableció formalmente la Comunidad Emergente de Investigación de la UAdeC UT en una reunión celebrada

en la Escuela de Arquitectura. En esencia, nos convertimos en una red sistémica de investigadores.

Al optar por integrarnos y colaborar como comunidad emergente de investigación, nos planteamos varios objetivos:

- Reunir y organizar a investigadores de diversas disciplinas, cuerpos académicos y facultades de la Universidad Autónoma de Coahuila, con el fin de crear una comunidad emergente de investigación activada en el contexto de la cibercultur@. El propósito es desarrollar investigaciones disciplinarias, multidisciplinarias e interdisciplinarias.
- Fomentar un proceso de formación y capacitación en investigación interdisciplinaria de sistemas complejos, que permita abordar la complejidad de los problemas.
- Fortalecer la labor de investigación mediante la formulación y discusión de proyectos de investigación enfocados en problemas concretos. Esto ampliará nuestro marco conceptual y nos permitirá compartir un enfoque común ante situaciones específicas, es decir, crear un marco epistémico, conceptual y metodológico compartido.

La comunidad emergente de investigación "Noas" está conformada por investigadores de diferentes cuerpos académicos de la Universidad Autónoma de Coahuila. En relación con las áreas de investigación y temáticas, si bien cada grupo de investigadores y tesis tiene su propia línea de investigación conforme a sus cuerpos académicos o investigaciones, tesis doctorales o profesionales en desarrollo, la CEI se enmarca en áreas de investigación o temáticas más generales, como la cibercultur@ y la investigación interdisciplinaria de sistemas complejos. Esta línea de investigación permite unificar nuestros diversos temas de investigación y proyectos como comunidad emergente de investigación.

**Adoptando la Estrategia de la Cibercultur@**

Se elaboró una estrategia para organizar y desarrollar nuestra red de investigadores, a la que denominamos Comunidad Emergente de Investigación (CEI). Partimos de la pregunta de investigación: ¿Cómo puede un grupo de investigadores con diversas formaciones disciplinarias, perspectivas y experiencias de investigación transformarse en una red sistemática inteligente de investigadores, capaz de abordar problemas de conocimiento y contribuir a la solución de problemas concretos que afecten a la sociedad? Planteamos como premisa central que la transformación de un grupo de investigadores en una red inteligente sistemática, con un impacto en los objetivos de la investigación, se logra a través de la organización y funcionamiento de una Comunidad Emergente de Investigación activada en el contexto de la cibercultur@, y sustentada en la perspectiva de investigación interdisciplinaria de sistemas complejos.

Al mismo tiempo, en esta investigación y proyecto de desarrollo, retomamos la propuesta del grupo impulsor del Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Comunicación Compleja (LabCOMplex), que aboga por la construcción de una red sistema inteligente mediante nodos interconectados, que se erigen como pequeñas unidades abiertas de generación de conocimiento. Aplicando la cibercultur@ como base teórica y metodológica, nos organizamos y formamos como investigadores interrelacionados en una Comunidad emergente de investigación.

A pesar de sus prometedoras perspectivas, la estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad emergente de investigación “Noas” (CEI) también enfrenta algunas limitaciones que es importante considerar:

- La participación de investigadores de diversas disciplinas en la CEI puede resultar en desafíos de comunicación y entendimiento. Las diferencias en la terminología, enfoques metodológicos y marcos teóricos dificultan en algunos casos la colaboración efectiva y la síntesis de conocimientos interdisciplinarios.

- La construcción y mantenimiento de una comunidad emergente de investigación activada en cibercultur@ demanda tiempo, esfuerzo y recursos considerables. La coordinación de actividades, la organización de reuniones y la gestión de la plataforma colaborativa es en ocasiones difíciles de sostener, especialmente en entornos académicos ya saturados de responsabilidades.
- La transición hacia una cultura de colaboración y trabajo interdisciplinario se encuentra con resistencias en un contexto académico tradicionalmente enfocado en las disciplinas individuales. Puede requerir un cambio cultural significativo y la disposición de los participantes para abrazar nuevas formas de trabajo y pensamiento.
- La resolución de problemas complejos y la generación de conocimiento interdisciplinario son procesos intrincados y demorados. La combinación de enfoques genera tensiones y desafíos para llegar a conclusiones concretas.
- La CEI enfrenta dificultades en términos de gestión y sostenibilidad a medida que crece en tamaño y alcance. La coordinación y administración eficaces de proyectos y actividades se vuelven más complejas con una comunidad en constante expansión.
- En algunos casos, los esfuerzos interdisciplinarios no reciben el mismo nivel de reconocimiento o incentivos en términos de promoción y evaluación en comparación con las investigaciones disciplinarias tradicionales, lo que es clásico de los programas de financiamiento y estímulos institucionales.
- La dependencia de la tecnología para la colaboración y la comunicación enfrenta desafíos como la disponibilidad y accesibilidad de herramientas, así como problemas técnicos que afectan la participación y el flujo de trabajo.

A pesar de estas limitaciones, la estrategia de la Cibercultur@ y la CEI representan un enfoque valioso y potencializado para abordar la investigación interdisciplinaria y la resolución de problemas complejos en la sociedad contemporánea. La

identificación y mitigación consciente de estas limitaciones pueden contribuir a fortalecer y mejorar la implementación de esta estrategia en contextos académicos y de investigación.

La estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad emergente de investigación ofrecen una serie de ventajas y fortalezas que enriquecen significativamente el panorama de la investigación y el desarrollo académico:

- Colaboración interdisciplinaria. La CEI fomenta la colaboración entre investigadores de diversas disciplinas, lo que permite un enfoque holístico y una comprensión más profunda de los problemas complejos. La interacción entre diferentes perspectivas y enfoques disciplinarios puede llevar a soluciones más completas y novedosas.
- Generación de conocimiento. Al reunir a investigadores con diferentes experiencias y formaciones, la CEI promueve la generación de conocimiento integral que aborda diversas facetas de un problema. Esto lleva a una comprensión más completa de los fenómenos estudiados y a la formulación de soluciones más efectivas.
- Enfoque en problemas relevantes. La estrategia se centra en la resolución de problemas concretos que afectan a la relación sociedad-naturaleza. Al enfocarse en desafíos reales y relevantes, la CEI puede generar investigaciones y soluciones que tengan un impacto significativo en la comunidad.
- Innovación tecnológica. La cibercultur@ y el uso de tecnologías digitales permiten la creación de plataformas colaborativas en línea, lo que facilita la comunicación y el intercambio de conocimientos entre los miembros de la comunidad. Esto impulsa la innovación tecnológica y la adopción de herramientas avanzadas en la investigación.
- Inteligencia distribuida. La estrategia se basa en el concepto de inteligencia distribuida, lo que implica que el conocimiento y la experiencia se comparten

y distribuyen entre los miembros de la comunidad. Esto amplía la capacidad de resolución de problemas al aprovechar la diversidad de habilidades y conocimientos.

- **Desarrollo de competencias.** La CEI fomenta el desarrollo de competencias cognitivas, de comunicación y de trabajo en equipo en los investigadores. La colaboración interdisciplinaria y el uso de herramientas tecnológicas fortalecen las habilidades de los participantes, lo que provee de beneficios a largo plazo en su desarrollo profesional.
- **Formación continua.** La CEI brinda oportunidades para la formación continua y el aprendizaje colaborativo. Los miembros están expuestos a nuevas ideas, enfoques y metodologías a través de la interacción con colegas de diferentes disciplinas, lo que enriquece su formación académica.
- **Redes de colaboración.** La estrategia promueve la creación de redes de colaboración intra e interinstitucionales. Esto no solo fortalece la comunidad de investigación, sino que también facilita el acceso a recursos, financiamiento y oportunidades de colaboración externa.
- **Ampliación de alcance.** La cibercultur@ y las tecnologías digitales permiten la comunicación y colaboración a distancia, lo que amplía el alcance geográfico de la comunidad. Esto facilita la participación de investigadores de diferentes ubicaciones, enriqueciendo aún más la diversidad de perspectivas.
- **Impacto en la sociedad.** Al abordar problemas sociales y generar conocimiento aplicable, la CEI tiene el potencial de generar un impacto positivo en la sociedad en su conjunto. Las soluciones y recomendaciones resultantes de la investigación contribuyen a la toma de decisiones informadas y a la mejora de las condiciones de vida.

La estrategia de la Cibercultur@ y la Comunidad emergente de investigación, de acuerdo con nuestra inmersión en los procesos reseñados, ofrecen una plataforma

poderosa para la colaboración interdisciplinaria, la generación de conocimiento integral y la resolución de problemas complejos. Al aprovechar la tecnología, la inteligencia distribuida y el enfoque en problemas relevantes, esta estrategia tiene el potencial de transformar la forma en que se aborda la investigación y el impacto en la sociedad.

### **Conclusiones**

La estrategia de la Cibercultur@ y la implementación de la Comunidad emergente de investigación (CEI) representan un enfoque innovador y poderoso para abordar los desafíos complejos de la investigación contemporánea. A lo largo de este análisis, hemos destacado diversas ventajas significativas que esta estrategia ofrece para el desarrollo académico y la generación de conocimiento.

En primer lugar, la CEI fomenta la colaboración interdisciplinaria al reunir a investigadores con diversas formaciones y perspectivas, tanto presencial como a distancia. Esta interacción permite una comprensión holística de los problemas, lo que conduce a soluciones más completas y efectivas. Además, la estrategia se centra en problemas sociales relevantes, lo que garantiza que la investigación sea aplicable y contribuya al bienestar de la sociedad.

La incorporación de la cibercultur@ y las tecnologías digitales potencia la comunicación y la colaboración, permitiendo la formación de redes de investigadores interconectados. Esta plataforma en línea no solo facilita la interacción, sino que también promueve la innovación tecnológica y la adopción de herramientas avanzadas en la investigación.

La noción de inteligencia distribuida es fundamental en esta estrategia, ya que se aprovecha la diversidad de conocimientos y habilidades de los miembros de la comunidad. Esto enriquece la resolución de problemas y contribuye al desarrollo de competencias cognitivas y de trabajo en equipo en los investigadores.

Es importante destacar que la CEI promueve la formación continua y el aprendizaje colaborativo, lo que enriquece la formación académica y fomenta la exposición a nuevas ideas y enfoques. Asimismo, la estrategia establece un marco epistémico,

conceptual y metodológico común que guía el enfoque interdisciplinario y facilita la construcción de objetos de investigación de manera colaborativa entre las distintas disciplinas.

A pesar de sus numerosas ventajas, es fundamental reconocer que esta estrategia también enfrenta ciertas limitaciones. Entre ellas, la necesidad de superar barreras disciplinarias y lograr una comunicación efectiva entre investigadores de diferentes campos puede ser un desafío. Además, la dependencia de las tecnologías digitales puede plantear obstáculos en términos de accesibilidad y equidad. Esta situación en general fue resuelta en principio al concertar reuniones periódicas de trabajo, compartir recursos de infraestructura, equipos y apoyos diversos, discusión, colaboración y formación por los miembros de la CEI.

Queda pendiente analizar el proceso de desarrollo y construcción del marco epistémico común, el marco conceptual y metodológico igualmente común para todos los integrantes de la CEI, elementos claves para la investigación interdisciplinaria, lo cual representa los mayores retos epistemológicos y metodológicos, que conllevó una gran parte de los trabajos formativos de los miembros de la CEI, proceso rico en experiencias y en el conocimiento de las diversas disciplinas que intervienen en la comunidad emergente en procesos de integración y diferenciación.

En última instancia, la estrategia de la Cibercultur@ y la CEI representan un enfoque valioso y prometedor para abordar problemas complejos y avanzar en la investigación interdisciplinaria. Al enfocarse en la colaboración, la tecnología y la generación de conocimiento integral, esta estrategia tiene el potencial de transformar la forma en que se realiza la investigación y su impacto en la sociedad. Sin embargo, es fundamental abordar sus limitaciones de manera proactiva para maximizar sus beneficios y lograr resultados significativos en la generación de conocimiento y la resolución de problemas.

## Referencias

- Amozurrutia, D. M. (2010). Cibercultura@ como actividad interdisciplinaria hacia lo complejo. En *Interdisciplina enfoques y practicas*: 101-124. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- Bertalanffy, L. V. (1976). *Teoría General de Sistemas. Fundamentos, desarrollo y aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Chavez, M. M., Covarrubias, K., & Uribe, A. (2013). *Metodología de investigación en ciencias sociales. Aplicaciones prácticas*. México: Universidad de Colima.
- Deuze, M. (2006). Participation, remediation, bricolage: Considering principal components of a digital culture. *Information Society*, 22(2): 63-75.  
doi:<http://doi.org/10.108001972240600567170>
- Deuze, M. (2007). Convergence culture in the creative industries. *International Journal of Cultural Studies*, 10: 243-263.  
doi:<http://doi.org/10.1177/137877907076793>
- Duval, B. (2008). Aspectos teórico-metodológicos de las relaciones sociedad-naturaleza. En *Sistemas complejos. medio ambiente y desarrollo*: 21-228. Puebla: Universidad Iberoamericana PUEbla: Colegio de Posgraduados: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Galindo, J. (2006). *Cibercultura: Un mundo emergente y una nueva mirada*. México: CONACULTA.
- García, R. (1986). Conceptos básicos para el estudio de sistemas complejos. En *Problemas del conocimiento y perspectiva ambiental del desarrollo*: 45-71. México: Siglo Veintiuno Editores.
- García, R. (2000). *El conocimiento en construcción: De las formulaciones de Jean Piaget a la teoría de sistemas complejos*. Barcelona, España: Gedisa Editorial.
- García, R. (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria*. Barcelona, España: Gedisa editorial.
- García, R., & Colaboradores. (1988). *Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva*. México: IFIAS.

- González, C. P. (2005). *Las nuevas ciencias y las humanidades: De la academia a la política* (Segunda ed.). México: Anthropos: UNAM Instituto de Investigaciones Sociales.
- González, J. (2003). *Cultura(s) y ciber-cultur@(s): Incursiones no lineales entre complejidad y comunicación*. México: Universidad Iberoamericana.
- González, J. (2008). *Entre cultura(s) y cibercultur@(s). Incursiones y otros derroteros no lineales*. La Plata Buenos Aires, Argentina: EDULP.
- González, J. (2013). El desarrollo de cibercultur@ en proyectos de conocimiento. Hacia una comunidad emergente de investigación. En *Metodología de la Investigación en ciencias sociales. Aplicaciones prácticas*. Colima, México: Universidad de Colima.
- González, J., Amozurrutia, J., & Maass, M. M. (2007). *Cibercultur@ e iniciación en la investigación*. México: Consejo Nacional para la Cultura y las Artes: Instituto Mexiquense de Cultura: UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- Maass, M., Amozurrutia, D. M., Almaguer, K. P., González, M. L., & Meza, C. M. (2012). *Sociocibernetica, cibercultur@ y sociedad*. México: Universidad Nacional Autónoma de México, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades.
- Ortiz, E. B., & Duval, G. (2008). *Sistemas complejos, medio ambiente y desarrollo*. Puebla, México: Universidad Iberoamericana: Colegio de Posgraduados: Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Ramírez, S. (1999). *Persectivas en las teorías de sistemas*. México: Universidad Nacional Autónoma de México; Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades: Siglo Veintiuno.
- Rodríguez, L. G., & Rodríguez, P. (2014). El espacio controversial de los sistemas complejos. *Estudios de Filosofía*(50): 103-129.

## **Nuevos materiales en filtros para hemodiálisis: Un impacto tecnológico y una esperanza en la calidad de vida del paciente con enfermedad renal crónica**

### **New materials in filters for hemodialysis: A technological impact and hope in the quality of life of patients with chronic kidney disease**

Rebeca Sadai Sánchez Huerta<sup>1</sup>, Christian Javier Cabello Alvarado<sup>1</sup>, Carlos Alberto Ávila Orta<sup>1</sup>, Marlene Lariza Andrade Guel<sup>1</sup>, Janeth Adriana Pérez Chantaco<sup>1</sup>, Herminia Cerda y Meneses<sup>1</sup>, Bertha Mauricio Benavides<sup>2,3</sup>, Juan Enrique Mauricio Benavides<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Química Aplicada. Departamento de Materiales Avanzados. Enrique Reyna H. 140, San José de los Cerritos, 25294 Saltillo, Coahuila, México.

<sup>2</sup> Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. Periferico Luis Echeverria y Calz. Antonio Narro s/n Saltillo, Coahuila.

<sup>3</sup> Unidad Renal de Saltillo, S. A. de C. V. Blvd José Sarmiento 1333, Kiosco 3er Sector, 25240 Saltillo, Coahuila

<sup>4</sup> Facultad de Medicina Unidad Saltillo. Universidad Autónoma de Coahuila. Boulevard Venustiano Carranza, esquina González Lobo, República Oriente, S/N, C.P. 25280, Saltillo, Coahuila, México.

Correspondencia Carlos Alberto Avila Orta, Centro de Investigación en Química Aplicada.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2820-0958>

Teléfono: +52 844 278 2255

E-mail: [carlos.avila@ciqa.edu.mx](mailto:carlos.avila@ciqa.edu.mx)

**Resumen:** La enfermedad renal crónica (ERC) es uno de los padecimientos actuales más alarmantes a nivel mundial debido a las cifras de defunciones y personas tratadas al año. Esta consiste en el daño irreversible del riñón ocasionando su mal funcionamiento e incorrecto desecho de toxinas urémicas. El objetivo de este artículo es dar a conocer la importancia del desarrollo científico en el área de la salud, específicamente al tratarse de filtros para hemodiálisis, debido a que es una problemática a nivel mundial y que para solucionarlo se requiere fomentar la sensibilización de la población ante las necesidades y dificultades que tienen los pacientes diariamente con la ERC. La hemodiálisis es uno de los tres métodos de tratamiento para pacientes con ERC más utilizado a nivel mundial, y consiste en la remoción de toxinas urémicas de pacientes con este padecimiento. Las membranas para hemodiálisis son elaboradas a partir de polímeros y su funcionamiento se basa en la retención de las toxinas urémicas presentes en la sangre. Entre sus principales desventajas se destaca el tiempo de tratamiento, pérdida proteica debido a la baja selectividad de las membranas en el filtro y altos costos. Sin embargo, la evolución tecnológica e investigaciones latentes en la actualidad se enfocan en la búsqueda de nuevos materiales absorbentes para filtros de hemodiálisis con el fin de aumentar la eficacia y disminuir el tiempo del tratamiento para mejorar la calidad de vida de los pacientes.

**Palabras claves:** Hemodiálisis, enfermedad renal crónica, filtros, membranas, nanotecnología.

**Abstract:** Chronic kidney disease (CKD) is one of the most alarming current conditions worldwide due to the number of deaths and people treated each year. This consists of irreversible damage to the kidney, causing its malfunction and incorrect disposal of uremic toxins. The objective of this article is to highlight the importance of scientific development in the area of health, specifically when it comes to filters for hemodialysis, because it is a worldwide problem and to solve it is necessary to promote awareness among the population to the needs and difficulties that patients with CKD have on a daily basis. Hemodialysis is one of the three most used treatment methods for patients with CKD worldwide, and consists of the removal of uremic toxins from patients with this condition. Hemodialysis membranes are made from polymers and their operation is based on the retention of uremic toxins present in the blood. Among its main disadvantages are the treatment time, protein loss due to the low selectivity of the membranes in the filter and high costs. However, technological evolution and latent research currently focus on the search

for new absorbent materials for hemodialysis filters in order to increase effectiveness and reduce treatment time to improve the quality of life of patients.

**Key words:** Hemodialysis, chronic kidney disease, filters, membranes, nanotechnology.

## **Introducción.**

En la actualidad, la salud global enfrenta una variedad de desafíos, entre los cuales sobresalen las enfermedades crónico-degenerativas tales como la obesidad, la diabetes y las enfermedades cardiovasculares. Estas condiciones generan trastornos en el cuerpo humano que provocan daño irreversible en los riñones. Particularmente, la enfermedad renal crónica (ERC) es una de las problemáticas más preocupantes en el mundo debido a su alta mortalidad. Actualmente está catalogada en el séptimo lugar entre las diez principales causas de fallecimiento a la par de la obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, cardiopatía isquémica, enfermedades pulmonares, entre otras, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2020).

La enfermedad renal crónica es uno de los padecimientos más silenciosos e importantes, debido a que a nivel mundial más de 850 millones de personas la padecen, de las cuales más de 55.4 millones mueren en promedio al año (Li y col., 2020). México ocupa el noveno lugar a nivel mundial dentro de los países con mayor número de habitantes diagnosticados con esta enfermedad, más del 10% de la población total del país de entre 30 a 70 años donde estadísticamente la mujer es un 2% más propensa a presentarla (CDC, 2023).

Uno de los aspectos de mayor preocupación relacionados a esta enfermedad es la poca accesibilidad a los tratamientos, así como la tardía detección de ésta, ya que estudios han demostrado que 9 de cada 10 personas que la padecen no saben que presentan esta enfermedad sino hasta en sus etapas finales, por lo cual se reducen las opciones de tratamientos para abordar o revertir el daño renal (OPS, 2017). Los riñones son el segundo órgano más importante del ser humano, los cuales están conformados por más de un millón de unidades de filtrado denominadas nefronas, encargadas de ser la unidad funcional de ultrafiltración de la sangre para su correcto procesamiento y producción de orina. Estudios han demostrado que algunas causas directas de pérdida de la función renal son diabetes mellitus (44 %), hipertensión arterial sistémica (29 %), glomerulopatías crónicas cardiovasculares (7 %), malformaciones genéticas (2 %) entre otras causas (18 %), provocando la

disminución progresiva de su desempeño derivando en enfermedad renal crónica (ERC) (Carracedo y col., 2020).

La ERC consiste en el incorrecto desecho del cuerpo de algunos productos metabólicos tóxicos para el ser humano y puede ser atendida por tres diferentes alternativas de tratamiento: como el trasplante renal, la diálisis peritoneal y la hemodiálisis. La hemodiálisis es el tratamiento de mayor uso en la actualidad según estadísticas de la Organización Mundial de la Salud (OMS). El tipo de tratamiento dependerá directamente de la etapa de avance de la enfermedad y condición del paciente, así como del daño renal presente (Méndez y col., 2016).

Actualmente la hemodiálisis tiene un costo promedio de \$ 4,000 a \$ 6,000 pesos mexicanos por sesión, lo que representa un costo elevado para el poder adquisitivo de los mexicanos. Aunado a eso, este tratamiento es muy demandante, ya que se requiere de 3 a 5 horas por sesión con una frecuencia de 3 a 4 veces por semana y, en consecuencia, genera un desgaste considerable tanto física, emocional y económicamente. Los efectos que se presentan en un paciente al recibir el tratamiento de hemodiálisis son diversos, entre los que destaca un desgaste físico y psicológico debido al tiempo del tratamiento (ISSSTE, 2017).

El proceso de la hemodiálisis consiste en la sustracción de la sangre del cuerpo para su procesamiento y limpieza a través de un filtro dializador constituido por membranas semipermeables (Malo, 2021). Actualmente los sistemas de hemodiálisis comerciales tienen una eficiencia promedio del 60% de retención de toxinas urémicas. Sin embargo, uno de los mayores problemas de su eficiencia es su baja retención de toxinas urémicas, y limitada selectividad que conlleva también a la retención de proteínas importantes para el ser humano (Sellares y López, 2021). Se conoce que la proteína más comprometida en la mala selectividad de los filtros por su incorrecta retención es la albumina, debido a que su principal función es la circulación del cuerpo, así como la regulación de más del 75% de la presión osmótica en el organismo, por lo que la extracción errónea de esta proteína del cuerpo ocasiona una descompensación y desnutrición en el organismo que afecta directamente a la circulación y a la presión osmótica del ser humano (Brandan y col., 2019).

El dializador o filtro es la parte más importante del sistema para hemodiálisis, en él se lleva a cabo la retención de toxinas urémicas gracias a la membrana semipermeable con el que está relleno. Existen tres diferentes tipos de dializadores

que dependen directamente de su geometría denominados dializador de placa, de fibra hueca y capilar; este último es actualmente el de mayor uso en hospitales e instituciones de salud. El dializador capilar, consiste en una carcasa donde fluye la sangre a través de la membrana colocada de forma vertical. Este tipo de filtro sustituyó comercialmente a los otros tipos debido a que hay una mayor exposición de la sangre con la membrana proporcionando mayor eficacia en la retención de las toxinas urémicas y, lo más importante, permite una fácil reutilización (IONICS, 2021).

Los filtros para hemodiálisis hoy en día pueden reutilizarse hasta quince veces dependiendo de su uso, mediante diferentes procesos como lavados y sanitización con sustancias basadas en la norma NOM-171-SSA1-1998. Esto tiene la finalidad de disminuir costos y ofrecer al paciente un tratamiento más normativo. Sin embargo, algunas membranas no tienen la misma duración de vida, por lo que está es una de las características que se busca tener en los nuevos materiales para membranas (CENEDEC, 2022). Los filtros utilizados en el tratamiento no son selectivos, por lo cual a pesar de que se filtran las toxinas, también se remueven otros elementos no dañinos para el organismo como proteínas, lo que provoca efectos en el paciente como fatiga, desnutrición y fallas cardíacas (Méndez, 2021). Este último efecto se debe a que los riñones requieren un 22 % de gasto cardíaco, es decir un riego sanguíneo de 1,100 ml/min para el procesamiento de filtración glomerular naturalmente, sin embargo, al realizar el proceso de hemodiálisis este gasto cardíaco aumenta de un 10 al 15 % lo que genera el fallo (Gutiérrez y col., 2021). Por ello, aportar soluciones a esta problemática resulta de importancia para mejorar la calidad de vida de los pacientes y brindar un mejor manejo y control de esta enfermedad.

La aplicación de nanotecnología en el área de la salud hoy en día es una gran ventaja para la mejora de propiedades, eficiencia y eficacia de materiales, por lo que el manejo y estudio de de los mismos en la manufactura de membranas para filtros de hemodiálisis con nanotecnología es un tema de desarrollo tecnológico de gran importancia. A través del tiempo se han utilizado diversos materiales para la fabricación de membranas como se muestra en la Tabla 1 (Kohlová y col., 2021) (Irfa, 2017), donde se enlistan las opciones de compuestos empleados para la fabricación de las membranas. Hoy en día existen diversas investigaciones que buscan proponer nuevos materiales mejorados con el fin de tener una mejor filtración, así como reducir el tiempo de sesión para aumentar la calidad de vida del

paciente (Andrade, 2020), (Cabello, 2022), (Andrade, 2022). En Tabla 1 se analiza a detalle cada uno de los tipos de materiales de membranas para hemodiálisis que se ha utilizado a lo largo del tiempo, de igual manera se muestran las ventajas y desventajas de cada una. Como se puede ver en esta Tabla, unas de las primeras membranas para hemodiálisis estuvieron basadas en la celulosa, debido a su selectividad y correcta eliminación de toxinas. Sin embargo, sus desventajas llevaron a modificarla con grupos funcionales, lo cual resultó en una forma innovadora de reducir las desventajas y la obtención de un nuevo y mejor material. Con la evolución tecnológica y paso del tiempo los polímeros sintéticos se aplicaron como nuevos materiales de membranas para hemodiálisis, siendo la polisulfona el polímero de mayores ventajas y menores desventajas que se usa en hoy en día comercialmente.

*Tabla 1. Membranas para filtro de hemodiálisis en la actualidad*

Tipo de membrana	Nombre comercial	Ventajas	Desventajas
<b>Celulosa</b>	Cupropham	Eficiente eliminación de solutos diminutos	Infiltración de bacteria en el filtro y mala eliminación de compuestos de tamaño medio en la sangre
<b>Celulosa modificada</b>	Acetato de celulosa (CA) (grupos hidroxilos reemplazados por grupos acetato)	Reducida estimulación del sistema complementario en contraste con la membrana original	Amplificación del sistema de complemento en contraste con membranas artificiales. Mayor destrucción de neutrófilos
	Hemophan (grupos hidroxilos reemplazados por aminas terciarias)	Menor activación del complemento en comparación con la membrana sin modificar	Producción incrementada de citocinas inflamatorias en contraposición a las membranas de poliacrilonitrilo (PAN)
	Celulosa modificada	Disminución de la estimulación del	Baja eliminación de la B2-microglobulina

	sintéticamente con grupos bencilo	sistema de complemento	
	Cuprammonium rayón	Disminución de la estimulación del sistema de complemento	Alta pérdida de albumina
<b>Sintéticos</b>	Policarbonato (PC)	Naturaleza hidrofílica, reducida activación del sistema de complemento	Alta producción de marcadores inflamatorios
	Polisulfona (PSF)	Elimina B2-microglobulina, tasa de mortalidad reducida y retención eficaz	Induce activación de neutrófilos, amplifica la generación de citocinas inflamatorias, atrapa proteínas
	Poliamida (PA)	Remueve B2-microglobulina	Riesgo de reacción anafiláctica Activación del complemento
	Polietersulfona (PES)	Remueve moléculas de peso molecular medio, buen rendimiento y depuración y biocompatibles	Captura de proteínas en la superficie y estimulación del sistema inmunológico
	Poliacrilonitrilo (PAN)	Eliminación de proteínas pequeñas, bacterias, baja activación neutrofílica y biocompatibilidad	Alto riesgo de reacciones anafilácticas Persiste activación del complemento
	Poli (metacrilato de metilo) (PMMA)	Altamente biocompatible, elimina proteínas de	Activación del complemento Leucopenia leve

		peso molecular intermedio, beneficios en la anemia	
--	--	-------------------------------------------------------------	--

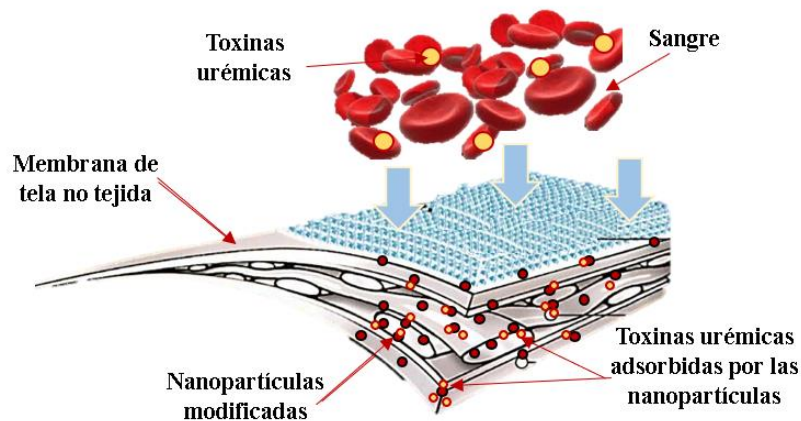
Gracias al avance tecnológico actualmente algunos investigadores buscan nuevos materiales para membranas de hemodiálisis que compitan comercialmente, aumenten el porcentaje de remoción de toxinas urémicas y presenten mejores propiedades que las membranas de hoy en día. En la siguiente Tabla 2 se presentan algunas de las investigaciones actuales de nuevos materiales mejorados para la fabricación de membranas de hemodiálisis.

*Tabla 2. Nuevos materiales para membranas de hemodiálisis y su porcentaje de remoción*

Investigador	Material	% de remoción de toxinas urémicas
<b>Lu, 2016</b>	Poliacrilonitrilo (PAN) con micropartículas de zeolita	<b>70.00 %</b>
<b>Said, 2019</b>	Polisulfona (PSF) con nanopartículas de óxido de hierro (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ),	<b>99.90 %</b>
<b>Mansur, 2021</b>	Polisulfona (PSF) con nanopartículas híbridas de sílice y alfa-mangostin	<b>55.56%</b>
<b>Cabello, 2022</b>	Nylon 6 con nanoplaquetas de grafeno modificadas con grupos amino y nanopartículas de negro de humo modificadas con grupos carboxílicos	<b>87.33 %</b>
<b>Andrade, 2022</b>	Tela no-tejida de Nylon 6 y nanopartículas de negro de humo modificadas con ácido	<b>80-90%</b>

El Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA) coordinado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) ha trabajado en una línea de investigación enfocada en el desarrollo de nuevos materiales para filtros de hemodiálisis a base de nanotecnología con el propósito de mejorar la

eficiencia y la selectividad en la remoción de toxinas urémicas, de la cual se ha derivado la solicitud de varias patentes. Este desarrollo busca la sustitución de la membrana que se usa actualmente por una capaz de tener una selectividad adecuada entre toxinas y proteínas, que además permita la disminución de tiempos de tratamiento en la hemodiálisis con el fin de contribuir a una de las preocupaciones de salud más inquietantes y proporcionar una mejor calidad de vida a los pacientes a un precio accesible. A la fecha, se ha trabajado en la modificación superficial de distintas nanopartículas como nanoplaquetas de grafeno, zeolitas, nanopartículas de silicio, nanopartículas de negro de humo, nanotubos de carbono, entre otras con el fin de utilizarlas como partículas adsorbentes selectivas de toxinas urémicas en las membranas del filtro dializador (Andrade, 2021), (Andrade, 2022). En los dializadores comerciales la remoción de toxinas urémicas de la sangre se realiza a través de un mecanismo de difusión (de León, 2017). Sin embargo, en telas no tejidas con nanopartículas modificadas, la remoción de toxinas se realiza mediante la adsorción de estas sobre las nanopartículas como se muestra la Figura 1. En esta Figura se observa como la sangre al pasar a través de las fibras de la membrana de tela no tejida que contienen nanopartículas, estas logran adsorber o anclar las toxinas que deben ser retiradas de la sangre para su correcto funcionamiento en el organismo.



*Figura 1. Adsorción de toxinas urémicas en telas no-tejidas con nanopartículas modificadas*

Los resultados obtenidos en modelos animales son significativos y prometedores ya que las membranas han generado una eficiencia en el filtro para hemodiálisis de 85% a 92% de retención de toxinas urémicas. Se sigue trabajando en la búsqueda de un material con mayor porcentaje de retención, mejor selectividad, menor pérdida

proteica y mayor eficiencia. Provenientes de estos trabajos se han generado hasta el momento 9 publicaciones de artículos en revistas científicas reconocidas indexadas en JCR, 4 artículos de divulgación, 4 solicitudes de patentes y 1 título de patente, así como diferentes participaciones en congresos y eventos importantes de ciencia y tecnología. Esta tecnología continua en desarrollo a fin de validar los resultados en otros modelos animales, para posteriormente iniciar la evaluación en seres humanos.



*Figura 2. Sistema de adsorción de toxinas urémicas a nivel laboratorio del Departamento de Materiales Avanzados del Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA)*

### **Conclusión:**

Indudablemente el estudio de investigaciones en salud que presenten nuevos materiales de filtros selectivos para hemodiálisis y mejores contribuciones para el manejo de la enfermedad crónica renal es de gran impacto tecnológico debido a su importancia para el conocimiento público con el fin de fomentar la sensibilización de la población mexicana ante los problemas y necesidades que se viven hoy en día. La finalidad de estas investigaciones es apoyar a los sistemas de salud que existen actualmente en México para mejorar el tratamiento de hemodiálisis y más significativamente para lograr mostrar una esperanza en la calidad de vida de los pacientes con enfermedad renal crónica.

### **Agradecimientos:**

Los autores agradecen el financiamiento del Proyecto CONAHCYT 320802: “Desarrollo de filtros selectivos nacionales a base de polímeros y nanopartículas modificadas”, para mejorar el tratamiento de hemodiálisis y sustituir el acaparamiento del mercado de empresas extranjeras, Fondo F003 Convocatoria de Ciencia Básica y/o Ciencia de Frontera. Modalidad: Paradigmas y Controversias de la Ciencia.

### Referencias:

Andrade-Guel, M., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Cabello-Alvarado, C. J., Pérez-Alvarez, M., Reyes-Rodríguez, P., Inam, F., Cortés-Hernández, D. A., & Quiñones Jurado, Z. (2020). Synthesis of Nylon 6/Modified Carbon Black Nanocomposites for Application in Uric Acid Adsorption. *Materials*. 13(22): 5173. [DOI. 10.3390/ma13225173](https://doi.org/10.3390/ma13225173)

Andrade-Guel, M., Reyes-Rodríguez, P. Y., Cabello-Alvarado, C. J., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. A. (2022). Influence of Modified Carbon Black on Nylon 6 Nonwoven 65 Fabric and Performance as Adsorbent Material. *Nanomaterials*. 12(23): 4247. [DOI. 10.3390/nano12234247](https://doi.org/10.3390/nano12234247)

Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Romero-Huitzil, R. L., Rodríguez-Fernández, O. S., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Medellín-Banda, D. I., Gallardo-Vega, C., & Cepeda-Garza, J. (2021). Nanocomposite PLA/C20A Nanoclay by Ultrasound-Assisted Melt Extrusion for Adsorption of Uremic Toxins and Methylene Blue Dye. *Nanomaterials*. 11(10): 2477. [DOI. 10.3390/nano11102477](https://doi.org/10.3390/nano11102477)

Andrade-Guel, M., Cabello-Alvarado, C., Cruz-Delgado, V., Bartolo-Perez, P., de LeónMartínez, P., Sáenz-Galindo, A., Cadenas-Pliego, G., & Ávila-Orta, C. (2019). Surface Modification of Graphene Nanoplatelets by Organic Acids and Ultrasonic Radiation for Enhance Uremic Toxins Adsorption. *Materials*. 12(5): 715. [DOI.10.3390/ma12050715](https://doi.org/10.3390/ma12050715)

Brandan, N., Llanos, C., Barrios, M., Escalante, M., & Ruiz, D. (2019). Proteínas plasmáticas. [En línea] Disponible. <https://es.scribd.com/document/408497836/Proteinas-Plasmaticas-Rev-1>. Fecha de consulta 15 de Octubre de 2023.

Cabello-Alvarado, C., Andrade-Guel, M., Medellín-Banda, D. I., Ávila-Orta, C. A., Cadenas-Pliego, G., Sáenz-Galindo, A., Radillo-Radillo, R., Lara-Sánchez, J. F., & Melo Lopez, L. (2022). Non-woven fabrics based on Nylon 6/carbon black-graphene

nanoplatelets obtained by melt-blowing for adsorption of urea, uric acid and creatinine. *Materials Letters*. 320: 132382. [DOI. 10.1016/j.matlet.2022.132382](https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.132382)

Carracedo, J., & Ramirez, R. (2020). Fisiología renal. *Nefrología al Día*. 1: 10–17. Disponible: <https://www.nefrologiaaldia.org/335>. Fecha de consulta 29 de Septiembre de 2023.

CDC, Centro para el Control y la Prevención de Enfermedades (2023). Enfermedad renal crónica en los Estados Unidos, 2023. [En línea]. Disponible. <https://www.cdc.gov/kidneydisease/publications-resources/ckd-national-facts.html>. Fecha de consulta 15 de Septiembre de 2023.

CENETEC, Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (2022). Tratamiento sustitutivo de la función renal. Diálisis y Hemodiálisis en la insuficiencia renal crónica. México: Secretaría de Salud. [En línea] Disponible. <http://www.cenetec.salud.gob.mx/interior/catalogoMaestroGPC.html>. Fecha de consulta 01 de Octubre de 2023.

De León, P., Saenz, A., Castañeda, O., Ávila, C. & Bernal J. (2017). *Membranas poliméricas para hemodiálisis*. Universidad Autónoma de Coahuila. Disponible en línea. <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2017/09/30/membranas-polimericas-para-hemodialisis/>. Fecha de consulta 19 de Octubre de 2023.

ISSSTE, Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado. (2017). Hasta 35 mil pesos por paciente es el costo total promedio mensual en terapias renales. [En línea]. Disponible. <https://www.gob.mx/issste/prensa/hasta-35-mil-pesos-por-paciente-es-el-costo-total-promedio-mensual-en-terapias-renales>. Fecha de consulta 20 de Septiembre de 2023.

IONICS, Tecnología que circula, hemodiálisis (2021). Hoja técnica: Filtros para hemodiálisis. [En línea] Disponible. [https://0201.nccdn.net/4\\_2/000/000/05a/a3f/fff.pdf](https://0201.nccdn.net/4_2/000/000/05a/a3f/fff.pdf). Fecha de consulta 18 de Septiembre de 2023.

Irfan, M., Idris, A., Nasiri, R., Almaki, J. H. (2017). Fabrication and evaluation of polymeric membranes for blood dialysis treatments using functionalized MWCNT based nanocomposite and sulphonated-PES. [DOI. 10.1039/C6RA13293F](https://doi.org/10.1039/C6RA13293F)

Gutiérrez Avila, G., Torres Guinea, M., Moreno Alia, I., Herruzo, J. A., Rincón Ruiz, B., Díaz Tejeiro, R., López Rubio, M. E., Vozmediano Poyatos, C., & Gómez Roldán, C. (2021). La mortalidad de los pacientes en hemodiálisis está asociada con su situación clínica al comienzo del tratamiento. *Nefrología*. 41(4): 461–466. [DOI. 10.1016/j.nefro.2020.11.006](https://doi.org/10.1016/j.nefro.2020.11.006)

Kohlová, M., Amorim, C. G., Araújo, A., Santos-Silva, A., Solich, P., & Montenegro, M. C. B. S. M. (2019). The biocompatibility and bioactivity of hemodialysis membranes: their impact in end-stage renal disease. *Journal of Artificial Organs*. 22(1): 14–28. [DOI.10.1007/s10047-018-1059-9](https://doi.org/10.1007/s10047-018-1059-9)

Li, P.K., Garcia-Garcia, G., Lui, S.F., Andreoli, S., Fung, W.W., Hradsky, A., Kumaraswami, L., Liakopoulos, V., Rakhimova, Z., Saadi, G., Strani, L., Ulasi, I., Kalantar-Zadeh, K. (2020). World Kidney Day. Kidney health for everyone everywhere -from prevention to detection and equitable access to care. Disponible en línea: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32159613/>. Fecha de consulta 01 de Octubre de 2023.

Lu, L., Chen, C., Samarasekera, C., & Yeow, J. T. W. (2017). Influence of zeolite shape and particle size on their capacity to adsorb uremic toxin as powders and as fillers in membranes. *Journal of Biomedical Materials Research Part B. Applied Biomaterials*. 105(6): 1594–1601. [DOI. 10.1002/jbm.b.33698](https://doi.org/10.1002/jbm.b.33698)

Malo, A. (2021). Dializadores y membranas de hemodiálisis. *Nefrología al Día*. <https://static.elsevier.es/nefro/monografias/pdfs/nefrologia-dia-169.pdf>. Fecha de consulta 24 de Septiembre de 2023.

Mansur, S., Othman, M. H. D., Abidin, M. N. Z., Ismail, A. F., Abdul Kadir, S. H. S., Goh, P. S., Hasbullah, H., Ng, B. C., Abdullah, M. S., & Mustafar, R. (2021). Enhanced adsorption and biocompatibility of polysulfone hollow fibre membrane via the addition of silica/alpha-mangostin hybrid nanoparticle for uremic toxins removal. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 9(5): 106141. [DOI. 10.1016/j.jece.2021.106141](https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106141)

Méndez, A., Ignorosa, M., Perez, G., Rivera, F., Gonzales, J., & Dávila, J. (2016). Estado actual de las terapias alternativas de función renal en el Instituto Mexicano del Seguro Social. *Pubmed*. 5: 88–93. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=67879>. Fecha de consulta 28 de Septiembre de 2023.

Méndez-Durán, A. (2021). Evolución del tratamiento sustitutivo de la función renal en México en los últimos 10 años. *Nefrología*. 41(1): 82–83.

[DOI: 10.1016/j.nefro.2020.02.004](https://doi.org/10.1016/j.nefro.2020.02.004)

OMS, Organización Mundial de la Salud (2020). Las 10 principales causas de muerte. [En línea] Disponible. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>. Fecha de consulta 02 de Octubre de 2023.

OPS, Organización Panamericana de la Salud. (2017). Manual para el cuidado de personas con enfermedades crónicas no transmisibles. [En línea] Disponible.

[https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34520/9789503802397\\_spa.pdf](https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/34520/9789503802397_spa.pdf).

Fecha de consulta 25 de Septiembre de 2023.

Said, N., Abidin, M. N. Z., Hasbullah, H., Ismail, A. F., Goh, P. S., Othman, M. H. D., Abdullah, M. S., Ng, B. C., Kadir, S. H. S. A., & Kamal, F. (2019). Iron oxide nanoparticles improved biocompatibility and removal of middle molecule uremic toxin of polysulfone hollow fiber membranes. *Journal of Applied Polymer Science*. 136(48): 48234. [DOI. 10.1002/app.48234](https://doi.org/10.1002/app.48234)

Sellares, V., & López, M. (2021). Principios Físicos en Hemodiálisis. *Nefrología al Día*. 1: 15–21. <https://www.nefrologiaaldia.org/188>. Fecha de consulta. 28 de Septiembre de 2023.