Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Memorias

7º Encuentro

Jóvenes Investigadores del Estado de Chihuahua

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Juan Ignacio Camargo Nassar
Rector

Daniel Constandse Cortez
Secretario General

Tania Hernández García
Directora General de Intercambio y Vinculación

Jesús Meza Vega
Director General de Comunicación Universitaria

Universidad Autónoma de Ciudad Juárez

Memorias

7º ENCUENTRO

JÓVENES INVESTIGADORES DEL ESTADO DE CHIHUAHUA

Memorias 7to. Encuentro de Jóvenes Investigadores del Estado de Chihuahua
Primera edición, 2021

© Universidad Autónoma de Ciudad Juárez,
Avenida Plutarco Elías Calles 1210,
Fovissste Chamizal, C.P. 32310
Ciudad Juárez, Chihuahua, México
Tel : +52 (656) 688 2100 al 09

La edición, diseño y producción editorial de este documento estuvo a cargo de la Dirección General de Comunicación Universitaria, a través de la Subdirección de Editorial y Publicaciones

Coordinación editorial: Mayola Renova González
Cuidado de la edición: Subdirección de Editorial y Publicaciones
Diagramación de interiores y portada: Karla María Rascón González

https://elibros.uacj.mx

ÍNDICE

Mensaje del Rector 7
Área I. Física, Matemáticas y Ciencias de la Tierra.... 9
Área II. Biología y Química.....35
Área III. Medicina y Ciencias de la Salud 65
Área IV. Humanidades y Ciencias de la Conducta 81
Área V. Ciencias Sociales 109
Área VI. Biotecnología y Ciencias Agropecuarias...135
Área VII. Ingenierías 153
Área VIII. Artes 179

Conferencia Magistral: la importancia de la investigación sobre la participación y representación política de los grupos históricamente vulnerados 199

Mesa de Mujeres en la Ciencia. 205

MENSAJE DEL RECTOR

Para la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez ha sido un honor ser la Institución sede del 7º Encuentro de Jóvenes Investigadores en el Estado de Chihuahua con el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).

Al revisar esta publicación se podrá constatar que se ha cumplido el objetivo central de promover espacios para consolidar la vocación de jóvenes por la investigación.

Se documenta la interacción de investigadoras e investigadores de renombre con estudiantes. Muestra de ello es el registro de 152 trabajos en las modalidades de presentación oral, cartel y prototipo en los niveles de pregrado y posgrado, los cuales después de la objetiva revisión de 79 profesores y profesoras investigadores, 119 pasaron a la etapa de presentación ante 81 evaluadores.

Se destaca la participación de Instituto Tecnológico de Ciudad Juárez, Universidad Tecnológica de Ciudad Juárez y la Universidad Tecnológica Paso del Norte como Instituciones de Educación Superior colaboradoras.

Otros distintivos del evento fueron la conferencia magistral "La importancia de la investigación sobre la participación y representación política de los grupos históricamente vulnerados" impartida por la Dra. Claudia Arlett Espino, temática acorde con las necesidades locales y regionales para construir un presente digno y un futuro prometedor; la mesa de mujeres en la ciencia, la presentación del libro Raramurí, cuaderno de trabajo para el docente y la tradicional presentación del Corredor Internacional Paso del Norte, estrategia de acercamiento y vinculación con el sector externo.

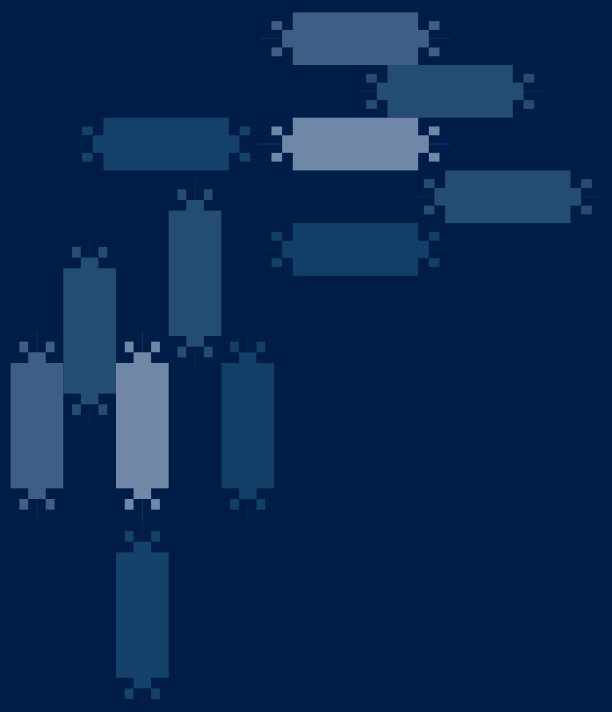
La realización del 7º Encuentro de Jóvenes Investigadores pone de manifiesto que ante las restricciones y retos impuestos por la pandemia, la suma de esfuerzos y vocación permitieron a las y los participantes coincidir en áreas de oportunidad, así como lograr impacto en nuevos escenarios al desarrollarse en modalidad a distancia.

Enhorabuena para las personas e instituciones participantes, continuemos con la tarea de impulsar la actividad científica de nuestros jóvenes investigadores.

Mtro. Juan Ignacio Camargo Nassar
RECTOR

ÁREA I.

FÍSICA, MATEMÁTICAS Y CIENCIAS DE LA TIERRA



Revisión al problema anisotrópico de Kepler

Autora: Dayra Berenice Torres Moreno
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Ingeniería Física
Correo: al167182@alumnos.uacj.mx
Tutor: Dr. John Alexander Arredondo García

Resumen
En el presente trabajo se muestra la primera parte de una investigación sobre el problema anisotrópico de Kepler (AKP) realizada durante la Estancia de Verano de Investigación 2021. Aquí se muestra el abordamiento al AKP, la descripción matemática de su superficie de colisión y algunas de las órbitas que describiría un sistema (se utiliza Marte como referencia) si fuera anisotrópico. Dichas órbitas se obtuvieron con Python y se incluye el *link* donde se puede visualizar el código utilizado. La investigación aún está en curso, por lo que queda pendiente investigar las órbitas periódicas y la correlación que tienen con las condiciones físicas de un sistema.

Palabras clave: problema anisotrópico de Kepler; Runge-Kutta; órbitas periódicas.

1. Introducción

El problema anisotrópico de Kepler (AKP, por sus siglas en inglés) surge cuando Martin C. Gutzwiller (1967; 1969; 1970; 1971; 1973; 1977), se encontraba estudiando los estados ligados, o *bound states*, de un átomo, a finales de los sesenta. Pero no fue hasta 1973 cuando el AKP fue introducido por el mismo Gutzwiller como una aproximación de un sistema cuántico por medio de un sistema clásico. El sistema en cuestión es un electrón que se encuentra cerca de una impureza donadora de un semiconductor (tipo n); dicho electrón se encuentra bajo un potencial de Coulomb. Lo que hace que este sistema no sea tan sencillo de analizar, es la anisotropía del mismo, la cual se puede ver en el caso del electrón en el semiconductor como una distribución de masa mayor en uno de los ejes en comparación con los otros; dicho de otra manera, no hay una distribución esférica, por lo que las órbitas se ven afectadas en gran medida. Por esta razón, el sistema en el AKP dependerá de un parámetro μ, que relaciona las masas. Cuando $\mu = 1$, se recupera el problema de Kepler debido a una fuerza central.

En 1978, Robert L. Devaney muestra cómo la anisotropía del sistema acaba con su regularización para la mayoría de los valores de $\mu > 1$. Esto significa que la estructura de la órbita del AKP no es tan sencilla como en el problema de Kepler isotrópico. Un acercamiento más completo al problema anisotrópico fue hecho por Casasayas y Llibre (1984), al analizar cualitativamente el AKP para los casos generales del valor de μ; incluso, sobre las órbitas periódicas simétricas para cuando $\mu > \frac{9}{8}$. El problema ha sido abordado desde la perspectiva

clásica y cuántica por Bai y Zheng (2002), para determinar las órbitas periódicas. Sin embargo, también es de interés encontrar un grado de orden y caos en las órbitas que describe el problema para distintos valores del parámetro μ, lo cual es precisamente lo que hicieron Contopoulos y Harsoula (2005) al encontrar órbitas estables e inestables. Es aquí cuando autores como Kubo y Shimada (2008); Sumiya, Kubo y Shimada (2014); Abouelmagd, Llibre y García (2017); y Llibre y Valls (2019) empiezan a generar interés por encontrar dichas órbitas estables y periódicas del AKP.

Cuando se aborda el AKP, se habla de alrededor de cincuenta años de investigación que han llevado a describir algunas de las órbitas del sistema, pero aún queda mucho por investigar. Para ejemplificar mejor esto, se puede ver que no fue hasta 2017 cuando Abouelmagd *et al.* estudiaron las órbitas del problema que se aborda de forma analítica, por lo que es necesario mencionar que previamente solo se había estudiado topológica y numéricamente.

2. Desarrollo

2.1 Justificación

El AKP ha sido objeto de estudio por diversos investigadores a lo largo del tiempo; sin embargo, el desarrollo que se le ha dado ha sido más por el lado matemático, el cual ha provocado una falta de entendimiento físico a dicho problema. Lo que se pretende con la presente investigación es proporcionar un artículo divulgativo sobre el AKP, que contenga la formalidad del análisis matemático para abordar el problema; algunos ejemplos de órbitas calculadas numéricamente de cuerpos que se encuentran bajo el efecto anisotrópico; y por último, un análisis acerca de las órbitas periódicas y sus implicaciones físicas. Con esto, se le facilitarían las herramientas a futuros investigadores que quieran explorar el tema para continuar con avances y, de ser posible, hacer un aporte al mejoramiento de dispositivos semiconductores, debido a la relación existente con el problema del AKP.

2.2 Metodología

1. Para comenzar a abordar el problema se seguirá como base la serie de instrucciones dadas como problema de exploración por Hirsch, Smale y Devaney (2004, p. 298).
2. Calcular algunas órbitas por medio del método numérico de Runge-Kutta de orden 4 para mostrar el efecto anisotrópico.
3. Investigar las condiciones iniciales para que una órbita bajo el efecto anisotrópico sea periódica.
4. Investigar la correlación entre las propiedades del problema anisotrópico de Kepler, tales como las órbitas periódicas y la bifurcación en $\mu = \frac{9}{8}$, con la física involucrada en el sistema.

2.3 Resultados

El sistema anisotrópico de Kepler está dado por:

$$x'' = \frac{-\mu x}{(\mu x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad y'' = \frac{-y}{(\mu x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad (1)$$

donde se asume que μ es un parámetro que relaciona las masas y que cumple: $\mu > 1$. Para simplificar las ecuaciones, las constantes se normalizan a 1, por lo que el sistema en la ecuación 1 corresponde a la Segunda Ley de Newton. Se encontró que el sistema es

conservativo, por lo que es posible obtener la función de energía potencial del sistema, debido a la relación entre la fuerza y la energía potencial en dicho caso, esto es, $F(x,y) = -\nabla U(x,y)$. Se obtuvo que la energía potencial está descrita por la siguiente función:

$$U(x,y) = -\frac{1}{\sqrt{\mu x^2 + y^2}} \tag{2}$$

Y su energía total, o hamiltoniano, ya que es conservativo, está descrita por:

$$\mathcal{H} = \frac{1}{2}\left(p_x^2 + p_y^2\right) - \frac{1}{\sqrt{\mu x^2 + y^2}} \tag{3}$$

donde p_x, p_y representan el momento lineal de la partícula que se mueve en el sistema. Siendo así, el sistema de ecuaciones que describe el AKP está dado por:

$$\dot{x} = p_x \qquad \dot{y} = p_y \tag{4}$$

$$\dot{p_x} = \frac{-\mu x}{(\mu x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \qquad \dot{p_y} = \frac{-y}{(\mu x^2 + y^2)^{\frac{3}{2}}} \tag{5}$$

La superficie de energía Σ_h es un subconjunto del espacio fase, que consiste en todos los puntos $(x, \dot{x})$, con energía total h. Cuando la energía es negativa, es decir, $h < 0$, entonces:

$$h = \frac{1}{2}\left(p_x^2 + p_y^2\right) - \frac{1}{\sqrt{\mu x^2 + y^2}} < 0 \tag{6}$$

De la ecuación anterior, se puede obtener que la energía total del sistema no debe ser mayor a la energía potencial, esto es, $h \ngtr -(\mu x^2 + y^2)^{\frac{1}{2}} = U(x,y)$. Los *bound states* del electrón en el problema surgen cuando la energía de dicha partícula es menor al potencial ($h < U(x,y)$). Por último, cuando $h = U(x,y)$ solo hay un vector cero que se encuentra en la superficie de energía; es aquí donde surge la curva de velocidad cero.
Para poder realizar un mejor análisis del sistema descrito por las ecuaciones 4 y 5, es conveniente cambiar a coordenadas polares, lo cual resulta en:

$$\dot{r} = v_r \qquad \dot{\theta} = \frac{v_\theta}{r} \tag{7}$$

$$\dot{v_r} = r\dot{\theta}^2 - \frac{1}{r^2(\mu\cos^2\theta + \sin^2\theta)^{\frac{1}{2}}} \qquad \dot{v_\theta} = -\dot{r}\dot{\theta} - \frac{(\mu - 1)\sin 2\theta}{2r^2(\mu\cos^2\theta + \sin^2\theta)^{\frac{3}{2}}} \tag{8}$$

donde v_r y v_θ son las componentes de velocidad radial y angular. De igual manera, el hamiltoniano se transforma en:

$$\mathcal{H} = \frac{1}{2}\left(v_r^2 + v_\theta^2\right) - \frac{1}{r\sqrt{\mu\cos^2\theta + \sin^2\theta}} \tag{9}$$

Es posible notar que el sistema que se obtuvo tiene una singularidad cuando $r = 0$; por lo tanto, se hará un nuevo cambio a las coordenadas McGehee para eliminar dicha singularidad y poder hacer un análisis de lo que pasa cuando la partícula se acerca a $r = 0$. Las coordenadas McGehee son $(r, \theta, u_r, u_\theta)$ y, además del cambio de variable dado en la ecuación 10, también conllevan un cambio en la escala de tiempo (McGehee, 1974).

$$u_r = r^{\frac{1}{2}} v_r \qquad\qquad u_\theta = r^{\frac{1}{2}} v_\theta \tag{10}$$

Como lo que se quiere es obtener el sistema de ecuaciones diferenciales $(\dot{r}, \dot{\theta}, \dot{u_r}, \dot{u_\theta})$, entonces se reemplaza v_r y v_θ por su equivalente, de acuerdo con la ecuación 8. Posteriormente, se despejan $\dot{r}$ y $\dot{\theta}$ y se deriva cada una respecto al tiempo. A pesar del cambio realizado, el sistema aún contiene la singularidad en el origen, por lo que se introduce la variable τ como un reescalamiento del tiempo, de tal forma que $\frac{dt}{d\tau} = r^{\frac{3}{2}}$. Una vez que se realizan los despejes y simplificaciones necesarios, se llega al sistema en las coordenadas de McGehee, así como a su energía total:

$$r' = r u_r \qquad\qquad \theta' = u_\theta \tag{11}$$

$$u_r' = u_\theta^2 + \frac{1}{2} u_r^2 + U(\theta) \qquad\qquad u_r' = -\frac{1}{2} u_r u_\theta - U'^{(\theta)} \tag{12}$$

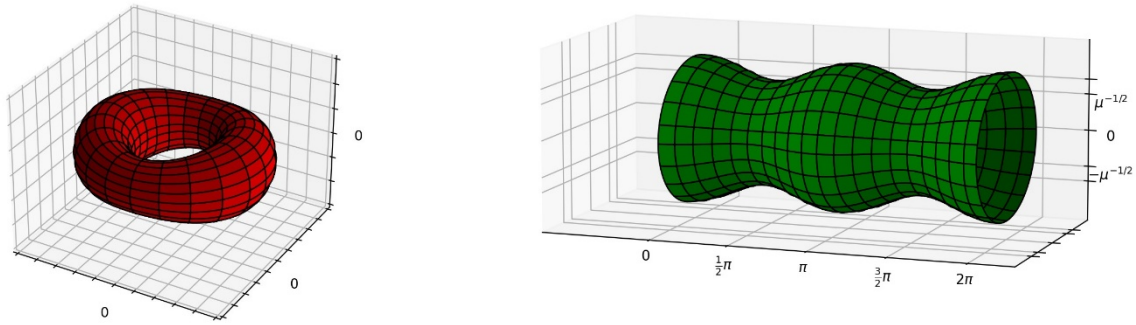
$$r\mathcal{H} = \frac{1}{2}\left(u_r^2 + u_\theta^2\right) + U(\theta) \tag{13}$$

En las anteriores, así como en el resto del documento, la coordenada q' representa la derivada respecto a τ. Además, la función $U(\theta)$ es:

$$U(\theta) = -\frac{1}{\sqrt{\mu \cos^2\theta + \sin^2\theta}} \tag{14}$$

Hacer el cambio a estas coordenadas es necesario para hacer el análisis de la superficie de colisión (Λ), ya que esta es la intersección de la superficie de energía Σ_h con $r = 0$ en el sistema coordenado. Al sustituir $r = 0$ en las ecuaciones 11, 12 y 13, se obtiene el sistema que describe la superficie de colisión, la cual se puede graficar, resultando como se muestra en la figura 1. Se puede observar que es una superficie toroidal con “grumos” o “bordes”.

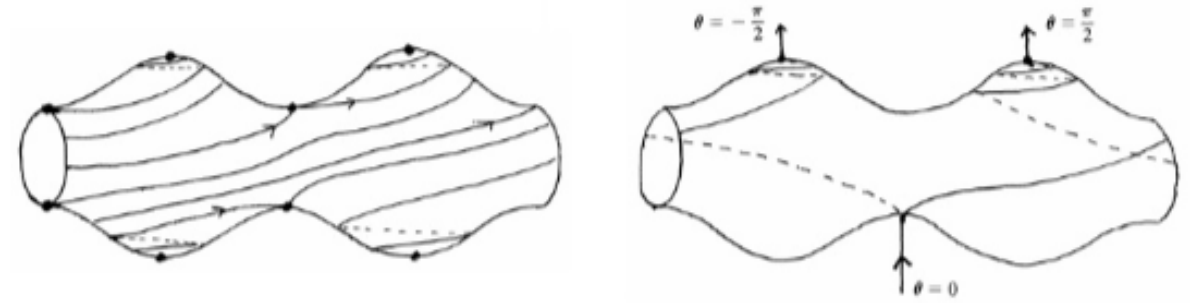
Figura 1. Superficie de colisión Λ. Ambos gráficos muestran la superficie toroidal, pero en la derecha uno de los ejes es el ángulo θ



Fuente: elaboración propia.

Los puntos de equilibrio de la superficie de colisión, se encontraron a partir de hacer las derivadas del sistema igual a cero. Restringiendo el caso cuando $0 < \theta < 2\pi$ fue posible determinar ocho puntos de equilibrio en Λ, los cuales son mínimos en $\theta = 0, \pi$, y máximos en $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ con base en la función $U(\theta)$. Una vez que se supo esto, se realizó una linearización del sistema que describe la superficie con $u_\theta = 0$, debido a que el interés es sobre los puntos de equilibrio. Lo anterior se hizo para determinar si el punto de equilibrio se trata de un punto silla, una fuente o un sumidero, de acuerdo con la clasificación de sistemas lineales en el libro de Hirsch *et al.* (2004). Al obtener la ecuación característica, se encontró que se tenía una bifurcación en $\mu = \frac{9}{8}$, de tal forma que se distinguen dos casos: de los ocho puntos de equilibrio, cuando $\mu < \frac{9}{8}$, cuatro son puntos silla; dos, sumideros; y dos, fuentes; o bien, cuando $\mu > \frac{9}{8}$, se tienen cuatro puntos silla, dos sumideros espirales y dos fuentes espirales. El valor del parámetro μ claramente va a afectar el comportamiento de las soluciones. Devaney (1982) logró sintetizar de forma muy adecuada el flujo del campo vectorial dentro de la superficie de colisión del AKP para entender cómo se comportan las soluciones cerca de la singularidad. Dentro de su trabajo, se demuestra que el sistema del campo vectorial en Λ es Morse-Smale y del tipo gradiente; con esto, junto con los puntos de equilibrio que se encontraron, es posible encontrar el flujo de las curvas de solución, que se muestran en la figura 2.

Figura 2. Curvas de solución en Λ



Fuente: imágenes obtenidas del trabajo de Devaney (1982).

Es posible ver cómo afecta el tipo de punto de equilibrio en la superficie de colisión; sin embargo, hay que considerar que estas soluciones no son del sistema original y que solamente son útiles para entender el comportamiento cerca de la singularidad.
Para encontrar las órbitas que describe un objeto dentro de un sistema del AKP se realizó una rutina en Python para calcular de forma numérica y graficar la órbita implicada. Para esto, se decidió usar el método de Runge-Kutta de cuarto orden con las condiciones iniciales de Marte, debido a que es un objeto adecuado para ver los efectos anisotrópicos, ya que se sabe que sigue una órbita de Kepler. Algunas de sus órbitas, se muestran en el Anexo, así como el *link* para acceder al Repositorio de GitHub, que contiene el código utilizado.

3. Conclusiones

3.1 Discusión

Fue posible realizar un abordamiento adecuado sobre los aspectos matemáticos que rodean el AKP, a través de un análisis de su superficie de colisión, lo que permitió conocer el comportamiento de las soluciones cerca del origen o singularidad. Si bien esto no es una solución real del sistema, sí muestra un primer indicio de lo caótico que este puede ser, razón por la cual no es posible resolverlo por métodos analíticos, como el problema de Kepler, principalmente porque este último sí cuenta con la conservación del momento angular. Como es posible ver en las gráficas del Anexo, el caos aumenta conforme μ se aleja más de 1, lo cual es mucho más notable en las órbitas cuando $\mu = 1.9$ y $\mu = 2$. Aún falta investigar la correlación entre el parámetro de la bifurcación con la física involucrada, además de encontrar las condiciones para que un sistema con anisotropía tenga órbitas periódicas.

3.2 Aportaciones

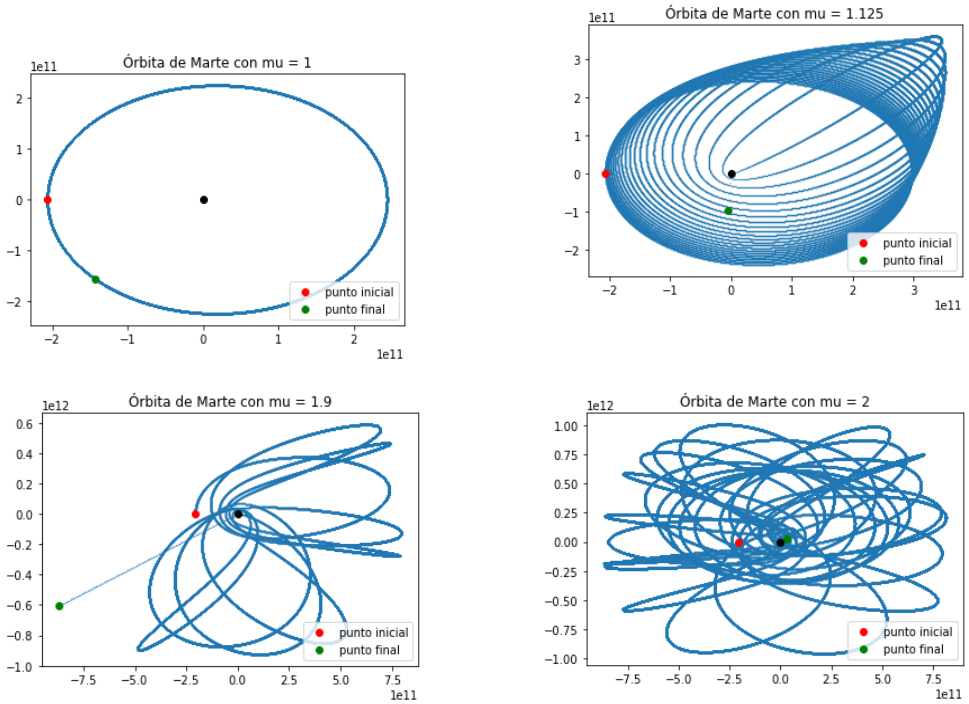
Debido a que la presente investigación se realizó durante la Estancia de Verano de Investigación 2021, el tiempo no fue suficiente para terminar el objetivo general del proyecto; sin embargo, se ha seguido trabajando para completar los últimos dos puntos de la metodología y afinar los detalles necesarios. Aun así, por el momento ya se cuenta con los primeros resultados del código para graficar las órbitas de un sistema anisotrópico, lo cual ya puede servir como referencia para futuras investigaciones.

Anexo

Debido a que la rutina de Python con el método Runge-Kutta para obtener las soluciones, es extensa, se puede encontrar en el siguiente *link* del Repositorio de Github: https://github.com/dayratorres/Problema_Anisotropico_Kepler.git. Las órbitas graficadas

con el código, se presentan a continuación. Se debe considerar que Marte tiene un perihelio de 206.617×10^6 km y una velocidad orbital máxima de 26.5 km/s (Williams, 2020); además, el punto negro representaría al Sol y cuando Marte colisiona con él, la rutina comienza a mostrar valores lineales, de tal forma que parece que es eyectado.

Figura 3. Órbitas descritas por Marte para distintos valores de μ. En la órbita superior izquierda es la órbita de Kepler sin anisotropía. La órbita superior derecha es cuando se encuentra en la bifurcación (9/8). En las inferiores se muestran anisotropías con valores de μ elevados, lo cual aumenta el caos



Fuente: elaboración propia.

Referencias

Abouelmagd, E. I., Llibre, J., & García Guirao, J. L. (2017). Periodic Orbits of the Planar Anisotropic Kepler Problem. *Int. J. Bifurc. Chaos, 27*(3). http://doi.org/10.1142/S0218127417500390

Bai, Z.-Q., & Zheng, W.-M. (2001). Singularity in Classical and Quantum Kepler Problem with Weak Anisotropy. *Phys. Let. A, 300*, 259-264. http://doi.org/10.1016/S0375-9601(02)00778-8

Casasayas, J., & Llibre, J. (1984). Qualitative Analisys of the Anisotropic Kepler Problem. *Am. Math. Soc.*, *312*. https://www.tdx.cat/handle/10803/2111\#page=1

Contopoulos, G., & Harsoula, M. (2005). Stability and Instability in the Anisotropic Kepler Problem. *J. Phys. A: Math. Gen.*, *38*, 8897-8920. http://doi.org/10.1088/0305-4470/38/41/005

Devaney, R. L. (1978). Nonregularizability of the Anisotropic Kepler Problem. *J. Differ. Equat.*, *29*, 253-268. http://doi.org/10.1016/0022-0396(78)90124-9

----- (1982). Blowing Up Singularities in Classical Mechanical Systems. *Am. Math. Mont., 89*(8), 535-552. http://doi.org/10.2307/2320825

Gutzwiller, M. C. (1967). Phase-integral Approximation in Momentum Space and the Bound States of an Atom. *J. Math. Phys., 8*(10), 1979-2000. http://doi.org/10.1063/1.1705112

----- (1969). Phase-integral Approximation in Momentum Space and the Bound States of an Atom. II. *J. Math. Phys., 10*(6), 1004-1020. http://doi.org/10.1063/1.1664927

----- (1970). Energy Spectrum according to Classical Mechanics. *J. Math. Phys., 11*(6), 1791-1806. http://doi.org/10.1063/1.1665328

----- (1971). Periodic Orbits and Classical Quantization Conditions. *J. Math. Phys., 12*(3), 343-358. http://doi.org/10.1063/1.1665596

----- (1973). The Anisotropic Kepler Problem in Two Dimensions. *J. Math. Phys., 14*(1), 139-152. http://doi.org/10.1063/1.1666164

----- (1977). Bernoulli Sequences and Trajectories in the Anisotropic Kepler Problem. *J. Math. Phys., 18*(4), 806-823. http://doi.org/10.1063/1.523310

Hirsch, M., Smale, S., & Devaney, R. L. (2004). *Differential Equations, Dynamical Systems & An Introduction to Chaos* (2nd Ed.). Elsevier.

Kubo, K., & Shimada, T. (2005). Orbit Systematics in Anisotropic Kepler Problem. *Artif. Life Rob., 38*, 218-222. http://doi.org/10.1007/s10015-008-0577-6

Llibre, J., & Valls, C. (2019). Periodic Orbits of the Planar Anisotropic generalized Kepler Problem. *J. Math. Phys., 60*. http://doi.org/10.1063/1.5058728

McGehee, R. (1974). Triple Collision in the Collinear Three-body Problem. *Inv. Math., 27*, 191-227. http://doi.org/10.1007/BF01390175

Sumiya, K., Kubo, K., & Shimada, T. (2014). A New Shooting Algorithm for the Search of Periodic Orbits. *Artif. Life Rob., 19*, 262-269. http://doi.org/10.1007/s10015-014-0166-9

LFS-MBRMD: prototipo de sistema de recomendación basado en un modelo bayesiano de riesgo microvascular derivado de diabetes

Autor: Erick Saúl Cardozo Valles
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales
Correo: erick.cardozov@gmail.com
Asesor: Dr. Jorge Rodas Osollo

Resumen
La diabetes *mellitus* es una enfermedad crónico-degenerativa con prevalencia ascendente a nivel mundial. Padecer diabetes implica un riesgo de desarrollar alguna complicación, lo cual repercute en la calidad de vida de la persona. En este proyecto, se presenta el desarrollo de un prototipo de sistema de recomendación que comunica el riesgo de desarrollar alguna complicación microvascular, el cual ofrece recomendación a fin de tomar acción preventiva. Haciendo uso de la metodología Action Design Research, se desarrolló el núcleo del sistema de recomendación a través de un modelo bayesiano construido a partir de evidencia científica, con apoyo de especialistas de la Secretaría de Salud del estado de Chihuahua. Para la implementación del prototipo, se desarrolló una interfaz de programación de aplicaciones en conjunto con una aplicación móvil para mostrar su funcionalidad. El prototipo fue validado por los especialistas cumpliendo con los requisitos establecidos por la Dirección Médica de la Zona Norte.

Palabras clave: sistema de recomendación; redes bayesianas; Action Design Research.

1. Introducción

Las enfermedades crónico-degenerativas constituyen una gran preocupación para las instituciones de salud, ya que representan una amenaza en la calidad de vida de las personas, además de mostrar una visible tendencia creciente. Un manejo inadecuado de estas enfermedades puede derivar, con el tiempo, en múltiples complicaciones que ponen en riesgo la vida de los pacientes.

En respuesta a esto, la Secretaría de Salud del estado de Chihuahua (SSEC) lanzó la estrategia Líderes Familiares de Salud (LFS), la cual busca integrar diferentes herramientas de análisis y *Machine Learning* en una plataforma tecnológica, con el objetivo de abordar tres líneas de acción: salud preventiva, diagnóstico oportuno y seguimiento al paciente.

Este proyecto busca brindar soporte tecnológico a uno de los módulos de la estrategia LFS, específicamente el de la diabetes *mellitus*, a través del desarrollo de un prototipo de sistema de recomendación (SR) basado en un modelo bayesiano, que analiza información de la salud de personas con este padecimiento, comunica el riesgo de desarrollar alguna complicación microvascular y ofrece consejo para su prevención.

2. Desarrollo

2.1 Justificación

La tendencia creciente en la prevalencia de diabetes *mellitus* lleva consigo un aumento en la necesidad de atención clínica, lo que provoca un impacto económico en las instituciones de salud públicas al elevar los costos de control y tratamiento de sus pacientes. Una herramienta que brinde soporte tecnológico al enfermo, a través de recomendaciones con base en su estado de salud, puede apoyarlo a conocer un poco más sobre su enfermedad y orientarlo a tomar decisiones en beneficio de su salud, reduciendo la necesidad de una atención clínica rigurosa, lo que, con el tiempo, puede traer consigo una disminución en los costos de inversión para las instituciones de salud.

Además, este proyecto consiste en el desarrollo tecnológico de un prototipo que atiende una necesidad específica de la Dirección Médica de la Zona Norte (DMZN) de la SSEC.

2.2 Objetivo general

Implementar un prototipo de SR, basado en un modelo bayesiano, que comunique el riesgo de desarrollar alguna complicación microvascular derivada de la diabetes *mellitus*, con el fin de brindar soporte y consejo a cada usuario que participa en la estrategia LFS.

2.3 Conceptos preliminares

Sistemas de recomendación

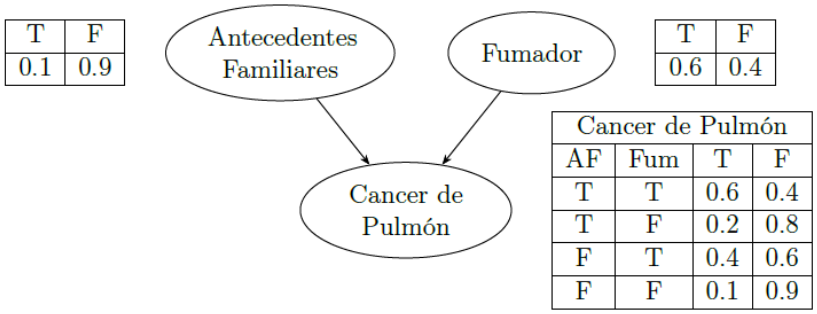
Son herramientas de *software*, que a través de diferentes métodos o algoritmos buscan brindar sugerencia del interés del usuario. Permiten brindar recomendaciones especializadas al usuario, a partir de su propia información, acciones o contexto individual.

Redes bayesianas

Son una herramienta de *Machine Learning*, la cual consiste en un tipo de modelo gráfico probabilístico con el cual se pueden realizar inferencias, a partir de evidencia conocida, para lograr resolver problemas de incertidumbre.

Las redes bayesianas son representadas por un par <G, T>, donde G indica la estructura de la red: un grafo acíclico dirigido compuesto por nodos; y arcos, que indican la relación de influencia entre los nodos del grafo. El elemento T indica el conjunto de probabilidades condicionales presentes en cada nodo, dada la influencia de sus nodos padre y sus estados. Haciendo uso de este par de elementos, se realizan las inferencias bayesianas. En la figura 1 se muestra un ejemplo de estructura y parámetros de una red bayesiana sencilla que modela el riesgo de padecer cáncer de pulmón.

Figura 1. Red bayesiana: par <G, T>



T	F
0.1	0.9

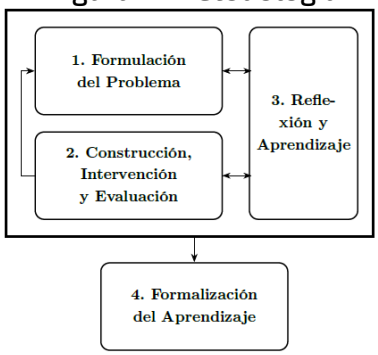
T	F
0.6	0.4

Cancer de Pulmón			
AF	Fum	T	F
T	T	0.6	0.4
T	F	0.2	0.8
F	T	0.4	0.6
F	F	0.1	0.9

2.4 Metodología

Para el desarrollo de este proyecto, se empleó la metodología Action Design Research (ADR), que facilita la colaboración directa con el cliente, consiguiendo diagnosticar así los requisitos de conocimiento específico para el prototipo. El esquema de las fases de desarrollo de la metodología ADR, se describe en la figura 2.

Figura 2. Metodología ADR



La metodología ADR, además, permite la integración con el método *Kanban* para el desarrollo del prototipo, que es un método visual ágil basado en el desarrollo incremental y evolutivo para gestionar el ciclo de vida de las tareas que van siendo completadas, a través del uso de tarjetas informativas.

A continuación, se describen brevemente cada una de las fases de la metodología ADR:

- *Fase 1. Formulación del problema*: se caracteriza la necesidad de atender y se establece la estrategia de desarrollo incorporando el contexto del dominio.
- *Fase 2. Construcción, intervención y evaluación*: conlleva la elaboración, intervención, adecuación y validación del prototipo.
- *Fase 3. Reflexión y aprendizaje*: fase simultánea a las fases anteriores. La reflexión continua permite realizar ajustes sin descuidar el contexto.
- *Fase 4. Formalización del aprendizaje*: se busca formalizar el aprendizaje obtenido, a través de pasos que puedan servir de apoyo para proyectos futuros.

2.5 Resultados de la implementación de la metodología

Fase 1. Formulación del problema

Se formuló como enfoque del problema la necesidad de atender el soporte tecnológico de la estrategia LFS mediante herramientas probabilísticas que ayuden en la toma de decisiones donde exista incertidumbre.

Se estableció un acuerdo con especialistas de la SSEC para entablar reuniones virtuales recurrentes, las cuales fueron en parte críticas en la segunda fase del proyecto.

Fase 2. Construcción, intervención y evaluación

Investigación del modelo de dominio e identificación de variables

Se realizó la consulta de los factores principales que engloban el riesgo de desarrollar cualquiera de las complicaciones microvasculares con mayor prevalencia de la diabetes *mellitus*: retinopatía, neuropatía y nefropatía diabética, a través de la búsqueda avanzada de PubMed. Haciendo uso del término Medical Subject Headings (MeSH) (Fatehi, Gray, & Wootton, 2014), se consultaron los artículos científicos con la mayor jerarquía disponible (Burns, Rohrich, & Chung, 2011).

Fueron únicamente considerados los factores de riesgo encontrados influyentes que cubrieran un intervalo de confianza del 95 % y un p-valor del $p <= 0.05$.

Discretización de variables

En las redes bayesianas cada variable o nodo del modelo debe contar con estados discretos, por lo que cualquier factor de riesgo con valores continuos pasó por un proceso de discretización, que se elaboró basándose en las distribuciones más comunes encontradas en los diferentes estudios analizados.

El ejemplo de discretización del factor control de la glucosa medido a través de la prueba HbA1c, se puede observar en la tabla 1. Esta fue tamizada de los estudios realizados a los resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (Ensanut) en el año 2016 (Rojas-Martínez *et al.*, 2018).

Tabla 1. Discretización del factor HbA1c

Estados	Equivalencia
Buen control	$< 7\,\%$
Descontrol leve	$\geq 7 - 8\,\%$
Descontrol grave	$\geq 8\,\%$

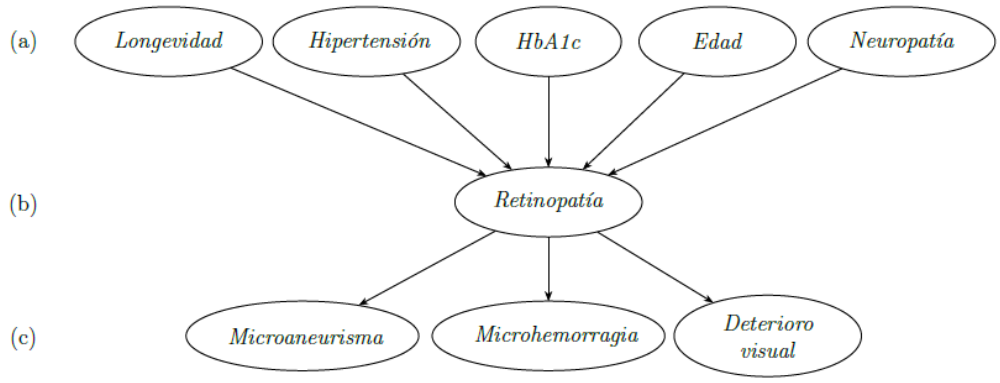
Para los factores de riesgo donde sus estados naturalmente son nominales de manera directa, se asignaron sus valores discretos como estados en su respectivo nodo.

Estructura de los modelos bayesianos

Para la construcción de los modelos, se utilizó una estructura generalizada empleada con éxito en múltiples estudios antecedentes (Oniśko, 2008; Nicholson *et al.*, 2008; Bucci, Sandrucci, & Vicario, 2011). Esta estructuración consiste en la división del modelo en tres capas: factores de riesgo, complicaciones y síntomas.

En la figura 3 se muestra la estructura desarrollada para el submodelo de la retinopatía diabética. En la parte superior, se observan los factores de riesgo depurados de los artículos científicos consultados (Figura 3 [a]). Estos nodos apuntan a través de arcos hacia la siguiente capa, la cual contiene la complicación (Figura 3 [b]). A su vez, este nodo correspondiente a la complicación apunta a la tercera capa, que corresponde a la sintomatología presente al padecer retinopatía (Figura 3 [c]). Este mismo proceso fue aplicado para las otras dos complicaciones (neuropatía y nefropatía).

Figura 3. Estructura del submodelo de retinopatía diabética



Parametrización

Para la obtención probabilística de los modelos fue dividida en dos tipos: probabilidades marginales y probabilidades de influencia.

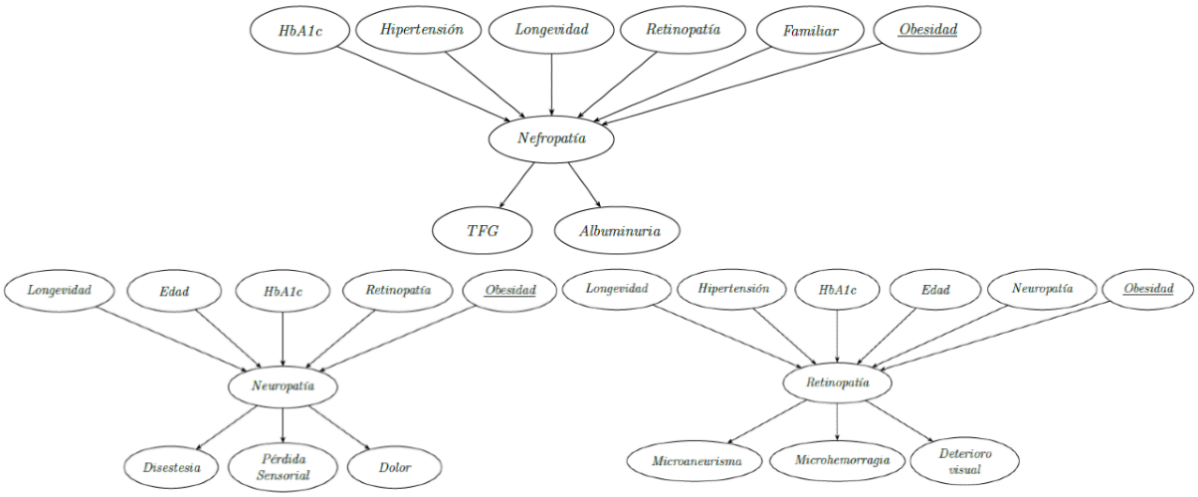
Para las probabilidades marginales (capa de factores de riesgo) estas fueron recabadas de estudios y estadísticos elaborados a la población mexicana. La principal fuente de estos datos fue obtenida de los resultados de la Ensanut (Inegi, 2018).

Para las probabilidades de influencia, correspondientes a las capas dos y tres del modelo (complicación y sintomatología), se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de las probabilidades de influencia, a través de la búsqueda avanzada de PubMed, utilizando la unión del factor de riesgo en cuestión, la respectiva complicación y diferentes términos clave, tales como *Risk*, *Odds Ratio* y *Relative Risk*.

Intervención y evaluación de los modelos

Una vez revisado el funcionamiento y las inferencias del modelo desarrollado, los especialistas validaron el avance y con base en la situación de la región sugirieron la adición de un factor relevante: la obesidad. La integración de este nuevo factor a la estructura, así como la probabilidad de influencia ejercida, fueron indicadas por el especialista. La estructura final de los submodelos, se observa en la figura 4.

Figura 4. Estructura actualizada de los submodelos de nefropatía, neuropatía y retinopatía diabética



Construcción de la interfaz de programación de aplicaciones

Una vez aprobados los modelos, se procedió al desarrollo del prototipo de SR, dando inicio a la construcción de una interfaz de programación de aplicaciones (API, por sus siglas en inglés).

Se trasladó el conocimiento del modelo bayesiano a código. Para esto, se apoyó en la librería PySMILE, que hace uso del motor SMILE desarrollado en el lenguaje C, para manejar modelos bayesianos por medio del lenguaje Python.

Para la construcción del servicio de API, se utilizó el *framework* minimalista *flask* (Grinberg, 2018), el cual permite crear aplicaciones y servicios web de manera rápida, a través de Python. Esta API recibe las diferentes peticiones tipo POST y regresa los cálculos solicitados en el formato de intercambio de datos JSON.

Desarrollo de la aplicación móvil

Para mostrar la funcionalidad de esta herramienta tecnológica, se diseñó y desarrolló una aplicación móvil, donde a través de un cuestionario se ingresan los datos de salud contemplados por el modelo bayesiano. Cuando es completado el cuestionario, se envía una petición desde la aplicación hacia el servidor que ofrece el servicio de API, donde esta recibe e interpreta, para calcular el respectivo riesgo solicitado y brindar las recomendaciones según el estado del usuario. La respuesta del servidor es enviada en el formato JSON, se interpreta por la aplicación móvil y se muestra el resultado en la interfaz gráfica. El desarrollo de la aplicación, se llevó a cabo en el entorno de Android Studio y el lenguaje Java.

Fase 3. Reflexión y aprendizaje

Se revisó en todo momento que el prototipo desarrollado reflejara tanto el diseño planteado inicialmente como cualquier adaptación señalada por parte de la DMZN. Favorablemente, durante la elaboración de este proyecto se atendieron los cambios sin afectar el desarrollo realizado previamente a la intervención por parte de especialistas.

Fase 4. Formalización del aprendizaje

Para desarrollar la estructura de modelos bayesianos que busquen abarcar el riesgo de alguna complicación, se sugiere utilizar tres capas: factores de riesgo, complicación y sintomatología. Los nodos de cada modelo, como la influencia entre ellos, son obtenidos a partir de la evidencia científica. Se realizan valoraciones e intervenciones por parte de especialistas para orientar al contexto del dominio. Finalmente, este último paso puede ser iterado hasta alcanzar un modelo con mayor apego al objetivo buscado.

2.6 Resultados de la funcionalidad del prototipo

Como demostración de la funcionalidad y de los resultados arrojados por el SR, se presenta una prueba de ejecución, donde se observa el resultado del flujo principal de ejecución de la interfaz gráfica de la aplicación móvil desarrollada.

En primera instancia, el usuario elige la complicación, la cual desea calcular el riesgo (figura 5). Luego de elegir la complicación, se procede a responder el cuestionario con los datos de salud solicitados (figura 6).

Figura 5. Elección de complicación microvascular

Figura 6. Completado del cuestionario

Figura 7. Interpretación de resultados en la aplicación móvil

Una vez completado el cuestionario, se envía la petición en formato JSON al servidor con el servicio de la API; se espera a recibir el mensaje de respuesta y, finalmente, se interpreta en la aplicación móvil (figura 7).

3. Conclusiones

En este proyecto, se presentó el desarrollo de un prototipo de SR basado en un modelo bayesiano para comunicar el riesgo de desarrollar alguna complicación microvascular en pacientes con diabetes *mellitus*. Para su elaboración, se hizo uso de la metodología ADR con la integración del método ágil *Kanban*.

En este proceso, se identificaron las variables influyentes y se construyó el modelo a partir del estudio de evidencia científica y de retroalimentación de especialistas de salud. Se implementó el SR a través de una API, a la cual se le envían peticiones para calcular el riesgo de complicación, regresando finalmente la interpretación de resultados, que se muestra al usuario mediante la aplicación móvil desarrollada.

Finalmente, el prototipo de SR fue nuevamente valuado y aprobado por parte de los especialistas de la SSEC, lo que concluye con el cumplimiento del objetivo planteado.

Recomendaciones para trabajo a futuro

Derivado a la limitante temporal fue abarcado únicamente el dominio de la diabetes *mellitus*, por lo que se sugiere hacer uso del conocimiento empleado en este proyecto para extenderlo en trabajos futuros a más dominios de la estrategia LFS.

4. Referencias

Bucci, G., Sandrucci, V., & Vicario, E. (2011). Ontologies and Bayesian Networks in Medical Diagnosis. In: *2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 1-8). https://doi.org/10.1109/HICSS.2011.333

Burns, P. B., Rohrich, R. J., & Chung, K. C. (2011). The Levels of Evidence and their Role in Evidence-based Medicine. *Plast. Reconst. Surg., 128*(1), 305-310. https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e318219c171

Fatehi, F., Gray, L. C., & Wootton, R. (2014). How to Improve your PubMed/MEDLINE Searches: 3. Advanced Searching, MeSH and My NCBI. *J. Telemed. Telec., 20*(2), 102-112. https://doi.org/10.1177/1357633X13519036

Grinberg, M. (2018). *Flask Web Development: Developing Web Applications with Python* (2nd Ed.). O'Reilly Media, Inc.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2018). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 (Ensanut) – Presentación de resultados. Inegi.

Nicholson, A., Twardy, C. R., Korb, K. B., & Hope, L. (2008). *Decision Support for Clinical Cardiovascular Risk Assessment* (pp. 33-52). https://doi.org/10.1002/9780470994559.ch3.

Oniśko, A. (2008). Medical Diagnosis. In: O. Pourret, P. Naïm, & B. G. Marcot (Eds.), *Bayesian Belief Networks: A Practical Guide to Applications* (pp. 15-32). https://doi.org/10.1002/9780470994559.ch2

Rojas-Martínez, R., Basto-Abreu, A., Aguilar-Salinas, C., Zárate-Rojas, E., Villalpando, S., & Barrientos-Gutiérrez, T. (2018). Prevalencia de diabetes por diagnóstico médico previo en México. *Salud Púb. Méx., 60*(3), 224-232. https://doi.org/10.21149/8566

Creación de herramienta en la API de Python para ArcMap Desktop para delimitación automática de cuenca hidrográfica

Autor: Horacio Jessaí Romero Ríos
Coautores: Brayan Alfredo Murillo Gutiérrez / Dr. Hugo Luis Rojas Villalobos / M. C. Mario Iván Uc Campos
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Geoinformática
Correo: al189831@alumnos.uacj.mx
Tutor: M. C. Mario Iván Uc Campos

Resumen
La sustentabilidad hídrica y el manejo integral de las cuencas es una de las prioridades a nivel nacional para el desarrollo humano y económico de las comunidades a nivel regional. En ese sentido, este trabajo coadyuva en este esfuerzo delimitando y calculando semiautomáticamente los parámetros morfométricos de una cuenca hidrológica mediante la programación en Python en un Sistema de Información Geográfica (SIG), facilitando a los tomadores de decisiones o técnicos su proceso. Calcular la morfometría en forma manual es muy tardado, porque requiere de conocimientos intermedios a avanzados en SIG y, en ocasiones, de hacer transformaciones a los datos. Esta herramienta reduce la exposición a errores de nombre y formateo que suceden cuando se procesa manualmente y, por lo tanto, reduce el tiempo de operación del cálculo de morfometrías. La implementación de esta herramienta en estudios hidrológicos será, sin duda, una ayuda en la administración integral de las cuencas.

Palabras clave: administración integral de cuencas; agua; morfometría; Sistema de Información Geográfica; sustentabilidad hídrica.

1. Introducción

El agua es un elemento fundamental no solo para la vida y la biodiversidad, sino para que existan los ecosistemas y también para que el desarrollo económico regional sea posible. La existencia de este líquido genera la posibilidad de desarrollar actividades económicas, como la agricultura y la ganadería, además de que si se compara el costo-beneficio, se tiene una relación de dos (Unesco, 2019). En cualquier territorio, el agua que cae en forma de precipitación es captada, distribuida y almacenada de forma natural, a través de cuencas hidro-

gráficas que pueden ser endorreicas (vierten su agua a un lago dentro de la misma cuenca) o exorreicas (vierten su agua directamente al océano). Las cuencas hidrográficas son unidades geográficas definidas por el límite de las zonas más altas (parteaguas) y definen la cuenca alta: una red de drenaje en la que el agua es transportada y está compuesta por un río principal, que es el de mayor orden junto con sus ríos tributarios. El punto más bajo en relación con la altura del terreno (punto exutorio) marca el límite de la cuenca baja en donde la red de drenaje de la cuenca, se une para salir por el cauce principal que, junto con toda el agua excedente y materia sólida producto de la erosión de la cuenca alta y media, produce una desembocadura (Llamas, 1993). En la actualidad, la delimitación de las cuencas hidrológicas se realiza a través de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), pero para la utilización de estos SIG se necesita tener conocimientos, que van del nivel intermedio al avanzado y conocer exactamente lo que lleva a cabo cada una de las herramientas empleadas. Aun utilizando estos sistemas, el proceso se vuelve tardado, ya que hay que establecer parámetros y ejecución de herramientas por separado (Faustino, 1996). Hay personas que desconocen el uso de estos sistemas para la delimitación de las cuencas. Debido a este desconocimiento, se realizan estos procesos de forma manual con lápiz y papel utilizando curvas de nivel (líneas que unen puntos de igual elevación), lo que requiere aún más conocimientos para la delimitación, por lo que está sujeto a tener una predisposición mayor de errores al momento de caracterizar la cuenca. A lo largo de los años, alrededor del mundo se han realizado convenios y acuerdos internacionales para la delimitación de cuencas hidrográficas, como el Acuerdo de Toulouse celebrado en España y Francia en el año 2006 o la Conferencia de Directores Iberoamericanos del Agua (Codia) llevada a cabo en Panamá en el año 2000, y en todos los convenios celebrados, se ha establecido que la cuenca es la parte fundamental para la planeación y el adecuado manejo de los recursos naturales (Sobrino, 2014).

El presente documento establece la forma en que se puede crear una herramienta, a través del uso de la programación para los SIG. Únicamente se tienen que establecer dos parámetros y, de una forma automatizada, se genera la delimitación de una cuenca específica, junto con sus parámetros morfológicos y morfométricos. De esta manera, se establece una manera fácil y rápida para delimitar las cuencas sin necesidad de contar con conocimientos intermedios y avanzados en el uso de SIG y de computación.

2. Desarrollo

2.1 Justificación

Debido a las prioridades existentes de sustentabilidad hídrica en el país, es indispensable la creación y aplicación de metodologías y herramientas que eficienticen una mejor administración de las cuencas en el país.

Por ello, afirmamos que el desarrollo de este prototipo contribuirá al mejoramiento en el manejo integral de las cuencas garantizando, de esta manera, la reducción de los tiempos y errores de la delimitación de una cuenca específica de manera manual.

2.2 Metodología

Fase 1. Preparación de los insumos necesarios

a. Creación de un archivo *.py e importación de las librerías necesarias: dentro de ArcGIS® en su versión de escritorio para 10x o superior. El lenguaje de programación que se utiliza es el de Python. Las librerías necesarias son ArcPy, para acceder a las herramientas de ArcGIS, mientras que OS (Operative System, por sus siglas en inglés) se emplea para acceder a las funcionalidades del sistema operativo.

Para el cálculo de esta relación, se empleó la fórmula:

$$R_{ci} = \frac{4\pi A}{P^2}$$

en donde R_{ci} es la relación circular adimensional; A es el área de la cuenca en metros cuadrados; y P es el perímetro de la cuenca (Breña, & Jacobo, 2006).

e. Cálculo de Coeficiente de Compacidad: compara la forma que tiene la cuenca con la de una circunferencia, en donde el círculo tiene la misma área que la cuenca. Este coeficiente es adimensional, es independiente del área estudiada y su valor siempre será mayor que 1. Este índice indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, siendo los valores más cercanos a 1 los que tienen mayor concentración de agua. La fórmula utilizada para el cálculo del Coeficiente de Compacidad fue:

$$Kc = 0.28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

en donde P es el perímetro de la cuenca; y A es el área de la cuenca (Breña, & Jacobo, 2006).

2.3 Resultados

Los resultados indican que con la creación de este prototipo, se puede demostrar que es indispensable la agilización de los procesos, ya que se pasa de delimitar y calcular los parámetros morfológicos y morfométricos de una cuenca de un lapso promedio de 3 a 4 horas a uno de un minuto con treinta segundos (1'30") a dos minutos (2') (lapso variable dependiendo del equipo) para realizar el mismo trabajo (tabla 1).

Tabla 1. Comparación de la herramienta en tiempo de ejecución en diferentes equipos de cómputo

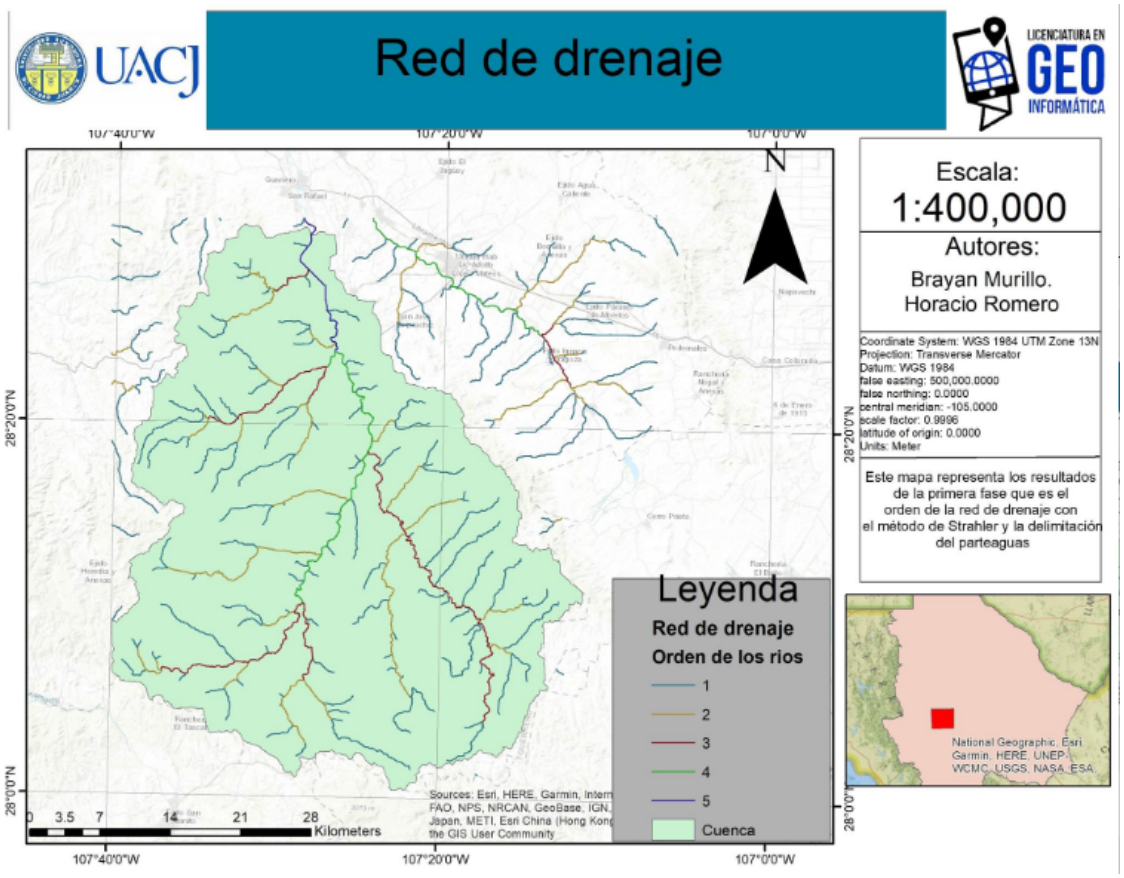
Características del equipo de cómputo	Tiempo en minutos en realizar el proceso
Laptop con procesador Intel i5 1035G1 con 8 Gb de RAM	2 minutos con 10 segundos (2'10")
Computadora *desktop* con procesador Intel i5 8400 con 16 Gb de RAM	2 minutos con 45 segundos (2'45")
Laptop con procesador Intel Celeron n400 con 4 Gb de RAM	10 minutos con 32 segundos (10'32")

Fuente: elaboración propia.

2.3.1 Delimitación del parteaguas y la red hídrica

Los resultados muestran que la reducción en el tiempo para la delimitación completa de la cuenca hidrológica, así como el cálculo de los parámetros morfológicos y morfométricos, fue más de 99.16 %, teniendo la posibilidad de realizar otras tareas dentro del mismo equipo; ya que no es necesario supervisar el proceso en tiempo de ejecución, porque cuando la herramienta finaliza automáticamente se detiene el proceso mostrando un mensaje de que este ha concluido satisfactoriamente.

Figura 1. Cuenca específica y red de drenaje delimitados a través de la herramienta generada



Fuente: elaboración propia.

Para el acceso a los resultados generados el usuario simplemente tiene que navegar en su explorador de carpetas, mediante ArcCatalog, a la raíz que se indicó previamente. En ella encontrará los principales archivos para una revisión más detallada, en caso de ser necesario.

También, se demostró que la utilización de herramientas por parte del usuario se redujo considerablemente, ya que de quince que se emplean en el proceso de delimitación de la cuenca el usuario no tiene que interactuar con ninguna y solamente tiene que especificar dos parámetros. El primero es indicar una carpeta de salida y en el segundo parámetro únicamente tiene que especificar el MDE, ya que a partir de este se delimitará la cuenca específica.

La fiabilidad en la delimitación de la cuenca, se redujo considerablemente al momento de ingresar un MDE de baja calidad, pues la herramienta para rellenar sumideros (Fill) únicamente corrige pequeñas imperfecciones; pero si estas superan la extensión del tamaño del pixel y no son corregidas, la cuenca que se mostrará no será de alta precisión; aquí radica la importancia de que el usuario utilice insumos de calidad.

2.3.2 Cálculo de parámetros morfológicos y morfométricos

Al igual que como sucede al momento de delimitar la cuenca, el cálculo de los parámetros morfológicos y morfométricos se hace de manera automática y rápida al momento de

ejecutar la herramienta, obteniendo de manera automática en la tabla de atributos del archivo vectorial (*.shp) de la cuenca específica, los parámetros morfológicos y morfométricos especificados del apartado de metodología. Gracias al cálculo de estos parámetros es posible caracterizar la cuenca y así eficientar la toma de decisiones a las autoridades correspondientes.

Tabla 2. Parámetros morfológicos y morfométricos calculados

Área	Perímetro	*Cg*	*Rci*	*Tc*	*Kf*	*Kc*
1629.99	2018.53	30.82	0.429	2.27	5.48	1.52

Fuente: elaboración propia.

3. Conclusiones y discusiones

Son diversos los autores que plantean metodologías para la delimitación de cuencas hidrológicas específicas, a través del uso de SIG. Garay y Agüero (2018) plantearon una metodología para la caracterización de la cuenca del río Anzulón en Argentina en donde se utilizaron como base únicamente criterios topográficos e hidrográficos, es decir, se empleó un MDE; además de la delimitación de la red de drenaje superficial generando las capas necesarias, a partir del comportamiento natural de los cursos del agua, así como operaciones matemáticas entre los diferentes ráster (álgebra de mapas). La Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2020), a su vez, planteó una metodología para la delimitación de las cuencas; lo que varía en relación con otros autores es que esta metodología utiliza MDE obtenidos mediante la tecnología LIDAR (Laser Imaging Detection and Ranging), la cual genera los MDE más exactos en comparación con los valores reales del terreno; diferenciando que para su procesamiento es necesario contar con un equipo de cómputo con alta capacidad. Además, esta metodología plantea el uso de capas en formato vectorial como vías de comunicación y servicios públicos adicionales a las capas de topografía e hidrología superficial. Con esto se logra que la delimitación de la cuenca beneficie no solo a la hidrología, sino también a la infraestructura. Por su parte, Cotler *et al.* (2007) mencionan que, para la correcta delimitación de las cuencas, es necesario partir de una capa de curvas de nivel corregido para la creación del MDE. Además, las zonas más conflictivas para la delimitación de las cuencas corresponden a las regiones costeras, por lo que para su corrección adecuada es necesario contar con compuestos de falso color en imágenes satelitales. Geraldi, Piccolo y Perillo (2010) mencionan que esto se tiene que realizar de forma manual con la digitalización de cartas topográficas y la Red de Triangulación Irregular (TIN, por sus siglas en inglés).

Todos los autores coinciden en que para la delimitación de una cuenca es necesario utilizar los SIG como una tecnología base para la realización de este proceso. Sin embargo, ninguno de los autores coincide con nosotros respecto a la automatización de los procesos; incluso, algunos mencionan que algunos procesos se tienen que llevar a cabo de forma manual, como la digitalización de la red de flujo o drenaje.

Este prototipo es un acercamiento de los SIG en lo que se refiere al manejo integral de las cuencas; siendo de gran utilidad y potencializando el análisis hidrogeográfico a nivel regional, proporcionando a los tomadores de decisiones una alternativa más en el proceso y generación de resultados de alta precisión.

Referencias

Breña Puyol, A. F., & Jacobo Villa, M. A. (2006). *Principios y fundamentos de la hidrología superficial*. https://www.uamenlinea.uam.mx/materiales/licenciatura/hidrologia/principios_fundamentos/libro-PFHS-05.pdf

Brieva, C. (2018). Caracterización de cuencas. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). https://inta.gob.ar/sites/default/files/caracterizacion_de_cuencas_0.pdf

Cotler, H., Garrido, A., Mondragón, R., & Díaz, A. (2007). Delimitación de las cuencas hidrográficas de México a escala 1:250 000. Inegi/INE/Conagua.

Faustino, J. (1996). *Gestión ambiental para el manejo de cuencas municipales*. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).

Garay, D., & Agüero, J. (2018). Delimitación hidrográfica y caracterización morfométrica de la cuenca del río Anzulón. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Geraldi, A. M., Piccolo, M. C., & Perillo, G. M. (2010). Delimitación y estudio de cuencas hidrográficas con modelos hidrológicos. *Inv. Geogr.*, 52, 215-255.

Llamas, J. (1993). *Hidrología general*. Universidad del Estado de México.

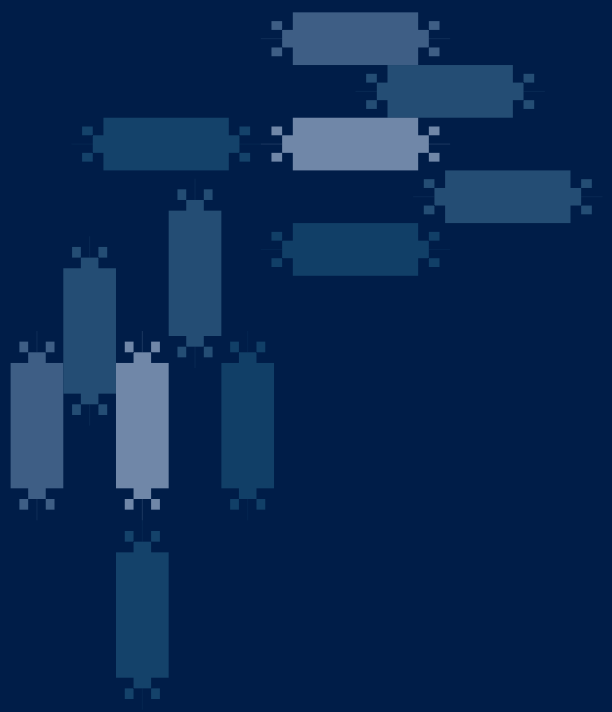
Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) (2019). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos. Unesco.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) (2020). Delimitación de cuencas hidrológicas. Obtención de curvas de nivel y escurrimientos aplicando Sistemas de Información Geográfica (SIG). Subsecretaría de Infraestructura/Dirección General de Servicios Técnicos.

Sobrino, J. M. (2014). *El derecho internacional del agua: los acuíferos transfronterizos*. Bosch Editor.

ÁREA II.

BIOLOGÍA Y QUÍMICA



Desarrollo floral de *Galeoglossum cactorum* Salazar & Chávez (*Cranichideae*: *orchidaceae*)

Autor: Luis Antonio López Villagómez
Coautora: Dra. Coyolxauhqui Figueroa Batalla
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Biología
Correo: al166705@alumnos.uacj.mx
Tutora: Dra. Coyolxauhqui Figueroa Batalla

Resumen
Se analizó el desarrollo floral y morfología de *Galeoglossum cactorum* y se comparó con el desarrollo floral de otras subtribus de *Cranichideae*, para entender las estructuras y homologías durante la ontogenia floral. Los botones florales fueron examinados en distintas etapas de su desarrollo utilizando microscopía de luz y electrónica de barrido. Los órganos florales se desarrollan de forma direccional, de una posición adaxial a abaxial, en el siguiente orden: sépalos laterales, labelo, pétalos, antera y sépalo dorsal. El desarrollo del ginostemio se inicia con la antera, después el ápice del carpelo medio seguido por los ápices de los carpelos laterales y finaliza con el desarrollo de los estaminodios. Durante el desarrollo tardío, se forman el estigma, viscidio y rostelo (a partir del carpelo medio), y los carpelos laterales son estériles. Las diferencias morfológicas más importantes entre el ginostemio de *Galeoglossum* y otras orquídeas, se generan durante las etapas intermedias y tardías del desarrollo.

Palabras clave: *Cranichidinae*; carpelos; estaminodios; ginostemio; ontogenia.

Introducción
El desarrollo floral es el proceso en el que los meristemos florales, se diferencian en los verticilos florales; en orquídeas son: sépalos, pétalos, labelo y ginostemio, y fusión del gineceo y androceo (Wang *et al.*, 2019). Este permite determinar homologías evolutivas mediante caracteres morfoontogénicos, reforzando filogenias y apoyando clasificaciones taxonómicas (Kurzweil, Weston, & Perkins, 2005). Pocos trabajos tratan el desarrollo floral de la tribu *Cranichideae* y, en ellos, se ha descrito la ontogenia de especies de las subtribus *Spiranthinae* (Figueroa *et al.*, 2012; 2021), *Chloraeinae* (Steinfort *et al.*, 2012), *Pterostylidinae* (Kurzweil *et al.*, 2005), *Cranichidinae* (Rizo, 2013) y *Goodyerinae* (Kurzweil, 1988; Rasmussen, 1982).

La tribu *Cranichideae* abarca noventa géneros con mil seiscientas especies, la mayoría geófitas, de distribución cosmopolita, especialmente en regiones tropicales y subtropicales. *Galeoglossum* es un género de la subtribu *Cranichidinae*, cuyas sinapomorfias genéricas son

el labelo apicalmente lobulado con los lados incurvados, dos áreas estigmáticas receptivas separadas por un área estéril central y un par de polinios en forma de horquilla. Recientemente, se ha añadido una nueva especie que corresponde a la tratada en esta investigación: *G. cactorum* Salazar & Chávez, que fue descrita en 2011 y es originaria de Oaxaca, México (Figueroa *et al.*, 2012; Salazar, 2009; Salazar *et al.*, 2011).

Desarrollo

En este texto se aporta conocimiento sobre la ontogenia floral de las orquídeas, ya que no existen trabajos publicados que detallen el desarrollo de ninguna de las especies del género *Galeoglossum*. Este documento permite conocer caracteres diferenciales entre *G. cactorum* y especies de otras subtribus durante su desarrollo, así como la relación con ellas, mediante micrografías y un cuadro comparativo que beneficiará futuros estudios acerca del desarrollo floral de la tribu o tribus afines, aportando un marco teórico con información nueva sobre una especie descrita recientemente y ayudando a profundizar en la teoría evolutiva del grupo de orquídeas terrestres, asociando las filogenias con caracteres ontogénicos de las flores.

Materiales y métodos

Recolecta de material. Se colectaron inflorescencias en varias etapas de desarrollo en el Distrito Tlaxiaco, municipio San Bartolomé Yucuañe, Cerro Jacaba, en el estado de Oaxaca, con las coordenadas geográficas 17.19361° N, 97.43389° O, altitud 1708 msnm. Colectado el 15/08/2008, con el número de colecta Chávez-Rendón, Avendaño & Sánchez 1604 (MEXU). Se fijaron en FAA (5 % formol, 5 % ácido acético, 50 % etanol), al menos durante 24 h; luego fueron lavadas con agua y almacenadas en etanol al 50 % hasta su procesamiento (Figueroa *et al.*, 2012).

Microscopía electrónica de barrido (MEB). Las muestras se deshidrataron en una serie de alcoholes graduales (etanol 50 al 90 % y 3 cambios en 100 %) durante 48 h en cada cambio. Se secaron a punto crítico y recubrieron con oro para observarlas en un microscopio electrónico Hitachi S-2460 N, operado a 15 kv. Las micrografías se tomaron con una cámara Pentax Z10, usando película de 35 mm Kodak 100 TMAX. Los negativos se digitalizaron con un escáner Nikon Super Coolscan 5000 (Figueroa *et al.*, 2012).

Anatomía. Se realizó una selección de las etapas del desarrollo y según el trabajo de Figueroa *et al.* (2012), se diferencia en desarrollo temprano y tardío. Las muestras se deshidrataron con alcohol isopropílico por 12 h en cada concentración en un cambiador Fisher Tissuematon y luego se incluyeron en parafina. Con un micrótomo American Optical Company 820, se hicieron cortes transversales y longitudinales de 10 µm de grosor, teñidos con safranina verde-rápido y montados en resina sintética (Figueroa *et al.*, 2012). Las preparaciones se fotografiaron con un microscopio óptico OMAX M83EZ-C02 y una cámara digital Microscope DigitalCam NXM-EPA030.

Comparación de caracteres. Se realizó una revisión bibliográfica para obtener las descripciones efectuadas previamente a especies de otras subtribus dentro de *Cranichideae*, con lo que se construyó una cuadro comparativo para observar cambios en el orden y en los caracteres morfológicos durante la ontogenia.

Resultados

Desarrollo floral de *Galeoglossum cactorum*

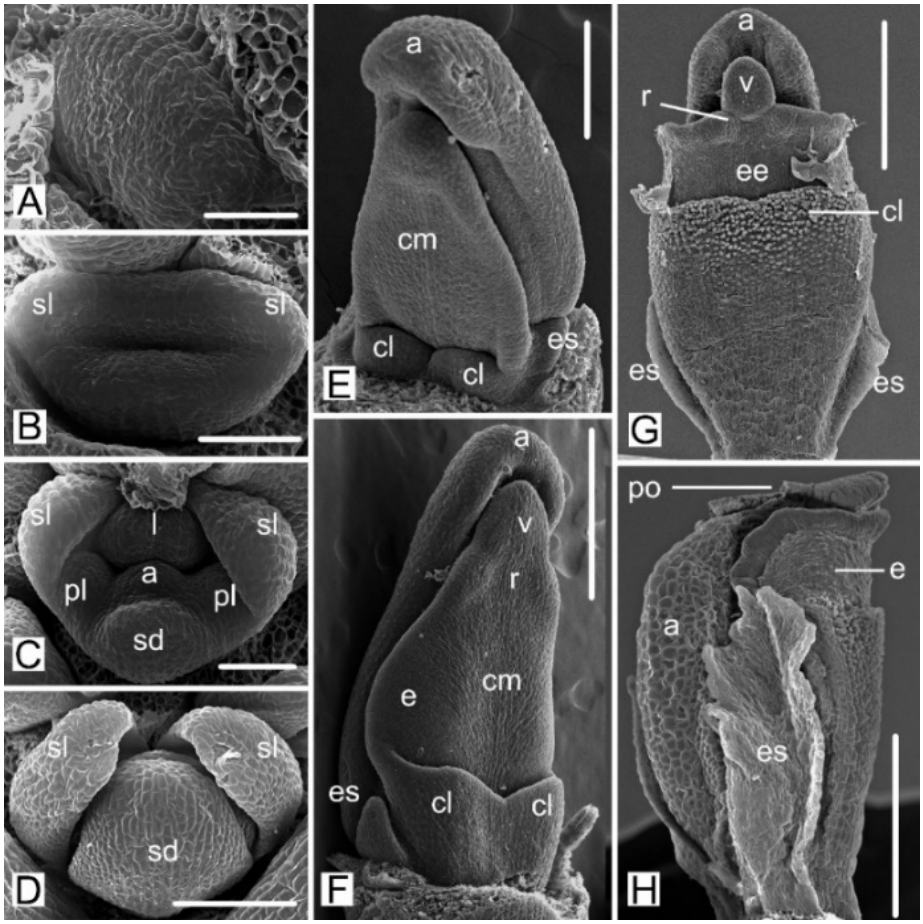
Desarrollo temprano. Comienza con el meristemo floral elíptico que se formó en la porción axilar de la bráctea floral (figura 1A). Se observó la formación de un surco transversal en el centro, debido a la proliferación celular en los bordes, donde se formaron los sépalos laterales en ambos lados de la parte adaxial del meristemo (figura 1B). Entre los sépalos, se formó el labelo, mientras que en la parte inferior del borde se observó un par de

prominencias, que formaron los pétalos laterales; abaxialmente se diferenció el sépalo dorsal y justo al centro, se desarrolló el ápice de la antera (figuras 1C; 2A). Los sépalos se desarrollaron rápidamente hasta adquirir una forma laminar para proteger los órganos internos mientras se desarrollan (figura 1D).

Desarrollo tardío. Una vez removido el perianto, se observó la antera con una forma piriforme cóncava. Entre el labelo y la antera, se apreció el desarrollo del ápice del carpelo medio como una protuberancia redondeada que creció rápidamente hasta casi alcanzar la longitud de la antera (figuras 2B-D; H). Frente al carpelo medio aparecieron los carpelos laterales como dos protuberancias separadas, y a cada lado de la base de la antera surgieron los primordios de estaminodios como pequeñas prominencias (figuras 1E; 2E), delgadas en la base de la antera (figura 1E). En la etapa intermedia del desarrollo, los carpelos laterales se fusionaron y formaron un surco, el reborde inferior del estigma, que creció hasta la mitad del ginostemio (figura 1F). La superficie sobre el reborde presentó células papilosas distales (figura 1G). Los estaminodios se fusionaron a la columna (figura 1G) y presentaron apariencia de un par de dobleces a los lados de la porción columnar hasta que alcanzaron la porción media del ginostemio; después se extendieron como dos alas petaliformes (figura 1H).

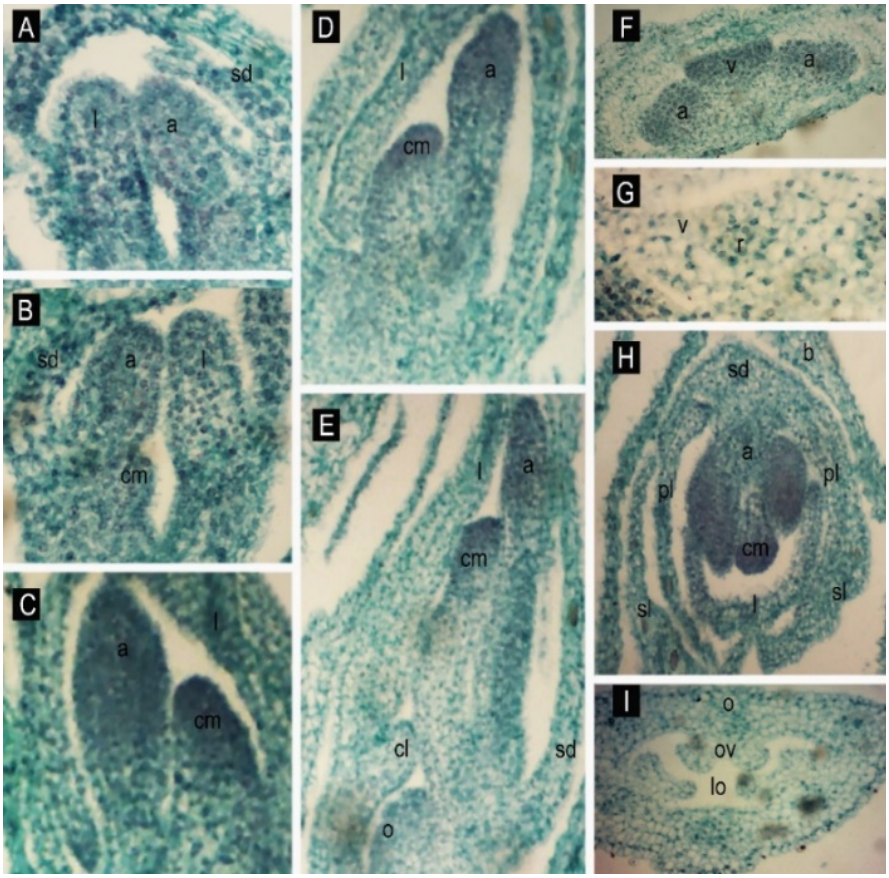
Antes de alcanzar a la antera en longitud, el carpelo medio se ensanchó envolviéndola parcialmente; en la punta del carpelo medio, se observó una protuberancia al centro que formó el rostelo y viscidio (figuras 1F-G; 2F-G). Este ensanchamiento abrazó a la antera y, además, presentó un engrosamiento del borde superior; cuando el carpelo medio casi envolvió a la antera, se distinguieron dos zonas estigmáticas receptivas a cada lado del carpelo medio y separadas por un área central estéril (figuras 1G-H). Finalmente, el carpelo se desarrolló más alcanzando a la antera; debido al alargamiento y engrosamiento de la porción columnar, el borde del carpelo medio que envolvía a la antera pasa de la porción media a la más distal (figura 1H).

Figura 1. Desarrollo floral de *Galeoglossum cactorum* Salazar & Chávez (MEB). A) Primordio floral elíptico; B) Iniciación de los sépalos laterales; C) Flor completa; D) Sépalos laminares; E) Flor sin perianto; carpelo medio y laterales; e inicio de los estaminodios; F) Viscidio diferenciándose; fusión de los carpelos laterales; G) Vista ventral del ginostemio; zona papilosa del borde estigmático inferior; estaminodios fusionados a la columna; H) Vista lateral del ginostemio mostrando el estaminodio petaliforme y zona receptiva del estigma. *Abreviaturas*: a, antera; cl, carpelos laterales; cm, carpelo medio; e, zona estigmática receptiva; ee, área estigmática estéril; es, estaminodios; l, labelo; pl, pétalos laterales; r, rostelo; sd, sépalo dorsal; sl, sépalos laterales; v, viscidio. *Escalas*: A = 50 μm; B, C = 100 μm; D, E = 200 μm; F = 500 μm; G, H = 1 mm



Fuente: elaboración propia.

Figura 2. Diferentes estadios de desarrollo floral de *Galeoglossum cactorum* Salazar & Chávez. Microscopía de luz. A) Primordio de la antera; B) Diferenciación del ápice del carpelo medio; C) Elongación del carpelo medio; D) Elongación de la antera; E) Diferenciación de los ápices de los carpelos laterales; F-I) Cortes transversales; F) Viscidio y antera; G) Base del viscidio; H) Flor durante el desarrollo; I) Cavidad ovárica. *Abreviaturas*: a, antera; b, bráctea floral; cl, carpelos laterales; cm, carpelo medio; l, labelo; lo, lóculo ovárico; o, ovario; ov, óvulo; pl, pétalos laterales; r, rostelo; sd, sépalo dorsal; sl, sépalos laterales; v, viscidio



Fuente: elaboración propia.

Comparación del desarrollo floral

Se ha descrito la ontogenia de cinco de las ocho subtribus de *Cranichideae*, las cuales se resumen en la secuencia de desarrollo de los órganos florales (cuadro I).

Cuadro I. Cuadro comparativo de la ontogenia floral de cinco subtribus de *Cranichideae* señalando solo los caracteres diferenciales presentes en cada grupo: (X) donde no existe una diferencia significativa y (-) en las secciones cuyo desarrollo no es detallado en el artículo de origen

Desarrollo de los órganos florales	Cranichidinae		Goodyerinae	Spiranthinae	Pterostylidinae	Chloraeinae
	Galeoglossum cactorum	*Cranichis/ Ponthieva*	*Goodyera repens*	*Dichromanthus michuacanus*	*Pterostylis gracilis*	*Chloraea crispa*
Referencia		Rizo (2013)	Kurzweil (1998)	Figueroa *et al.* (2012)	Kurzweil *et al.* (2005)	Steinford *et al.* (2012)
Sépalos laterales	X	X	X	X	-	X
Labelo	X	X	X	X	-	X
Pétalos	X	X	X	X	-	X
Sépalo dorsal	X	X	X	X	-	X
Antera	X	X	Un gancho en la punta	Antes que el sépalo dorsal	-	X
Carpelo medio	X	X	X	X	X	-
Carpelos laterales	Separados	Fusionados	Fusionados	Fusionados	Separados	-
Estigma	X	X	X	X	X	-
Viscidio	X	Hamulus	X	X	X	-
Róstelo	X	X	X	Remanente rostelar prominente	X	-
Estaminodios	Presentes	Ausentes	Presentes	Ausentes	Presentes	-
Posición del labelo	Adaxial	Adaxial	Abaxial	Abaxial	Abaxial	Abaxial

Fuente: elaboración propia.

Cranichidinae, incluyendo a *G. cactorum*, se diferencia por la posición de la flor, ya que esta se encuentra no resupinada, es decir, el labelo se desarrolla adaxialmente y no cambia en la flor madura; *G. cactorum* se diferencia por presentar estaminodios alados, la fusión tardía de los carpelos laterales y ausencia del hamulus.

Conclusiones

Desarrollo floral

Se observó que la ontogenia temprana de *G. cactorum* coincide con la de las orquídeas monandras y el desarrollo floral de las especies de la tribu *Cranichideae*, como *Goodyera repens* (*Goodyerinae*; Kurzweil, 1988), *Chloraea crispa* (*Chloraeinae*; Steinfort *et al.*, 2012), *Pterostylis concinna* (*Pterostylidinae*; Kurzweil *et al.*, 2005) y *Ponthieva fertilis* (*Cranichidinae*; Rizo, 2013), excluyendo a *Dichromanthus michuacanus*, cuya antera se desarrolla antes que el sépalo dorsal (*Spiranthinae*; Figueroa *et al.*, 2012; 2021).

El desarrollo tardío suele tener un orden determinado, observado en *G. cactorum*. Primero aparece la antera, después el carpelo medio y los carpelos laterales, y al final los estaminodios; un carácter distintivo entre estas orquídeas es que forman un par de alas laterales y que aparecieron paralelamente en el género *Prescottia*, observadas por Kurzweil (1988). En otra revisión de ontogenia floral de la familia *Orchidaceae*, Kurzweil (1998) enfatizó que en *Cranichideae* los estaminodios son reducidos o ausentes y marcan el fin de la organogénesis (Kull, & Arditti, 2002; Kurzweil, 1998).

El estigma de *G. cactorum* se desarrolla en la superficie del carpelo medio y formará tres áreas: dos fértiles laterales y una central seca y estéril, concordando con la sinapomorfia propuesta por Salazar *et al.* (2011) para el género *Galeoglossum*. Kurzweil y Kocyan (2002) indicaron que en la subfamilia *Spiranthoideae* (en desuso) el estigma fértil se deriva del carpelo medio, semejando los estigmas de algunas especies de la tribu *Diseae* (= tribu *Orchideae*; Chase *et al.*, 2015).

El rostelo de *G. cactorum* se ve truncado sobre la unión al polinio y sobre este se desarrolla el viscidio, una porción de células que ayudarán a adherir los polinios a los polinizadores; el viscidio es pequeño y redondeado, similar al de *P. fertilis*. Rizo (2013) propone que sea llamado esférico, distinto a los sugeridos por Greenwood (1982) para la tribu *Spiranthinae*.

Comparación de la morfología

De acuerdo con las investigaciones de Rasmussen (1982) y Kurzweil y Kocyan (2002), se puede indicar que la fusión posgenital de los carpelos laterales, los estaminodios, la no resupinación y la ausencia del hamulus son características plesiomórficas observadas anteriormente en la subfamilia *Epidendroideae* y en las tribus *Diurideae* y *Orchideae*. Siguiendo la filogenia recopilada por Chase *et al.* (2015), las orquídeas de *Cranichidinae* son el grupo más interno de *Cranichideae*, lo cual podría suponer una reversión o paralelismo en estos caracteres; estudios comparativos, junto con la filogenia, pueden ser útiles para esclarecer la evolución de las orquídeas. Los carpelos laterales en *G. cactorum* nacen como prominencias separadas que se fusionan posgénitamente formando un borde inferior en el estigma, coincidiendo con el desarrollo de *P. concinna* (Kurzweil *et al.*, 2005).

Otra diferencia a *Cranichidinae* es que las otras subtribus se observan en posición resupinada, que se alcanza durante el desarrollo tardío, justo antes de la antesis. Respecto a los caracteres morfológicos, *Goodyerinae* se distingue por el desarrollo de un gancho apical en la antera; *Spiranthinae*, por el remanente rostelar prominente y ausencia de estaminodios; y en *Pterostylidinae* sus carpelos laterales se fusionan tardíamente. En *Chloraeinae* no se aprecian detalles del desarrollo tardío, ya que el trabajo de Steinfort *et al.* (2012) solo muestra el desarrollo de *C. crispa* durante su fase de ontogenia temprana.

Aportaciones

El desarrollo floral de *G. cactorum* es adaxial-abaxial con el orden de diferenciación siguiente: sépalos laterales, labelo, pétalos, sépalo dorsal y antera. El desarrollo del ginostemio también es similar, aunque con particularidades, como la presencia de dos zonas receptivas del estigma, presencia de estaminodios alados y ausencia de hamulus.

Estudiar la ontogenia permite conocer el orden y origen de cada órgano floral, lo que puede emplearse en estudios de filogenia, sistemática y evolución.

Referencias

Chase, M. W., Cameron, K. M., Freudenstein, J. V., Pridgeon, A. M., Salazar, G., Van den Berg, C., & Schuiteman, A. (2015). An Updated Classification of *Orchidaceae*. *Bot. J. Linnean Soc., 177*(2), 151-174. https://doi.org/10.1111/boj.12234

Figueroa, C., Salazar, G. A., Terrazas, T., & Dávila, P. (2012). Estructura y desarrollo del ginostemio en *Dichromanthus michuacanus* (*Orchidaceae*, *Spiranthinae*). *Rev. Mex. Biodiv., 83*(1), 73-82. https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2012.1.1035

Figueroa, C., Terrazas, T., Dávila, P., & Salazar, G. A. (2021). Gynostemium Structure and Development in Subtribe *Spiranthinae* (*Cranichideae*, *Orchidaceae*). Bot. J. Linnean Soc., XX, 1-15. https://doi.org/10.1093/botlinnean/boab038

Greenwood, E. W. (1982). Tipos de viscidio en *Spiranthinae*. *Orquídea (Méx.), 8*(2), 283-310.

Kull, T., & Arditti, J. (Eds.) (2002). *Orchid Biology: Reviews and Perspectives VIII* (1st Ed.). Springer Science. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2500-2

Kurzweil, H. (1988). Developmental Studies in Orchids Flowers III: Neottioid Species. *Nord. J. Bot., 8*(3), 271-282. https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1988.tb01721.x

----- (1998). Floral Ontogeny of Orchids: A Review. *Beitr. Biol. Pflanzen*, 71, 45-100.

Kurzweil, H., & Kocyan, A. (2002). Ontogeny of Orchid Flowers. In: T. Kull, & J. Arditti (Eds.), *Orchid Biology: Reviews and Perspectives VIII* (pp. 83-136). Springer Science + Business Media Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-2500-2

Kurzweil, H., Weston, P. H., & Perkins, A. J. (2005). Morphological and Ontogenetic Studies on the Gynostemium of Some Australian Members of *Diuridae* and *Cranichideae* (*Orchidaceae*). *Telopea, 11* (1), 11-33. https://doi.org/10.7751/telopea20055701

Rasmussen, F. N. (1982). The Gynostemium of the Neottioid Orchids. *Op. Bot.*, 65, 1-956.

Rizo, F. L. S. (2013). Ontogenia, filogenia y el origen de la diversidad floral en el complejo de *Ponthieva* (*Orchidaceae*, *Cranichidinae*). Universidad Nacional de Trujillo.

Salazar, G. A. (2009). DNA, Morphology, and Systematics of *Galeoglossum* (*Orchidaceae*, *Cranichidinae*). Proceedings of the Second Scientific Conference on Andean Orchids, January 2009, 161-172. https://doi.org/10.1017/S1464793102005936

Salazar, G. A., Chávez-Rendón, C., Jiménez-Machorro, R., & De Ávila, A. (2011). A New Species of *Galeoglossum* (*Orchidaceae*, *Cranichidinae*) from Oaxaca, Mexico. *Syst. Bot., 36*(2), 261-267. https://doi.org/10.1600/036364411X569462

Steinfort, U., Cisternas, M. A., García, R., Vogel, H., & Verdugo, G. (2012). Phenological Cycle and Floral Development of *Chloraea crispa* (*Orchidaceae*). *Cienc. Inv. Agr., 39*(2), 377-385. https://doi.org/10.4067/S0718-16202012000200014

Wang, S. L., Viswanath, K. K., Tong, C. G., An, H. R., Jang, S., & Chen, F. C. (2019). Floral Induction and Flower Development of Orchids. *Front. Plant Sci., 10*(October). https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01258

Injerto de ácido 4-fenilbutírico como recubrimiento anticorrosivo sobre acero 1018

Autor: Jonathan Josué Calvillo Solís
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Química
Correo: al154790@alumnos.uacj.mx
Tutora: Dra. Mónica Galicia García

Resumen
Se injertó ácido 4-fenilbutírico en forma de nanopelícula sobre una superficie de acero 1018 y se evaluó su desempeño como recubrimiento anticorrosivo en NaCl 3.5 %. El injerto del derivado de este ácido carboxílico, se llevó a cabo mediante la reducción vía redox de la sal de diazonio generada *in situ* en medio ácido. Los resultados de espectroscopía de impedancia electroquímica mostraron un incremento en la resistencia a la transferencia de carga (R_{ct}), lo que evidencia el efecto protector de la nanopelícula formada. Las curvas de polarización mostraron una disminución evidente de la densidad de corriente (j), así como una menor velocidad de corrosión que reflejó una eficiencia de inhibición de 97.69 %. Con los datos experimentales, se propuso un mecanismo de protección por efecto barrera, debido a la existencia de repulsiones hidrofóbicas y electrostáticas, dado el carácter no polar del ácido 4-fenilbutírico.

Palabras clave: injerto covalente; recubrimiento anticorrosivo; acero 1018.

Introducción

Actualmente existen métodos anticorrosivos aplicados sobre acero 1018 innovadores y amigables con el medioambiente, como el uso de polímeros, inhibidores de corrosión y líquidos iónicos (ILs) [1]. Sin embargo, estos compuestos químicos tienen un mecanismo de protección que consiste en la adhesión sobre la superficie del metal por fisisorción, quimisorción o fuerzas de Van der Waals, interacciones débiles que limitan su aplicación en condiciones de flujo y que disminuyen significativamente su vida útil [2].

El electroinjerto de moléculas por enlaces covalentes ha sido ampliamente estudiado en electrodos de carbono, oro, platino y semiconductores sobre superficies metálicas de acero y se ha demostrado que el proceso puede llevarse a cabo [3]. El injerto covalente genera una fuerte y estable adhesión sobre la superficie y, además, los compuestos orgánicos conservan sus propiedades químicas y pueden reaccionar con otras moléculas del medio, lo que contribuye a mejorar sus propiedades anticorrosivas en determinadas condiciones de intemperismo, medio ácido-básico, condiciones de turbulencia, entre otras [4].

La reducción de las sales de arildiazonio ha sido descrita como el método más eficiente para injertar moléculas en superficie. En el caso del acero 1018, este proceso se produce espontáneamente debido a la diferencia de potencial redox entre la sal y el acero, por lo que no es necesario aplicar energía de una fuente externa para propiciar la reducción catódica, como sucede en superficies de grafito u oro [5].

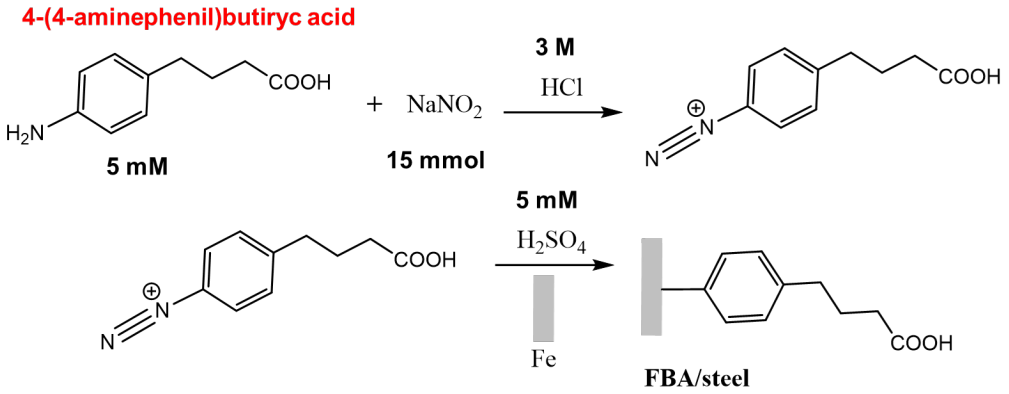
En este estudio, se presentó el injerto covalente del ácido 4-fenilbutírico sobre la superficie de acero al carbón 1018 mediante la reducción de la sal de arildiazonio generada *in situ* y se presenta su desempeño como recubrimiento anticorrosivo en NaCl 3.5 %, por medio de espectroscopía de impedancia electroquímica y polarización potenciodinámica con extrapolación de las pendientes de Tafel.

Metodología

Reactivos

El injerto del ácido 4-fenilbutírico se realizó mediante la generación *in situ* de la sal de diazonio, a partir del ácido 4-(4-aminofenil)butírico 99 % (Sigma-Aldrich®). Se utilizó $NaNO_2$ 99 % (J. T. Baker), HCl 36 % y H_2SO_4 98 % (Sigma-Aldrich®) para preparar las disoluciones. En la figura 1 se muestra el mecanismo de injerto con las condiciones experimentales. La reacción se llevó a cabo a 0 °C con agitación constante durante 5 min.

Figura 1. Mecanismo de injerto del ácido 4-fenilbutírico sobre acero 1018



Fuente: elaboración propia.

Preparación de electrodos

Se utilizaron electrodos de 1 ± 0.1 cm^2 de acero 1018, los cuales se pulieron en acabado espejo en un paño ultrafino con alúmina 0.3 μm y se limpiaron mediante ultrasonido en agua destilada, etanol y acetona durante 5 min. Posteriormente, se sumergieron en el crudo de reacción anteriormente descrito y, finalmente, se lavaron con abundante agua desionizada y se limpiaron mediante ultrasonido en Na_2CO_3 0.1 M para neutralizar el exceso de ácido; después en agua y etanol durante 10 min.

Instrumentación

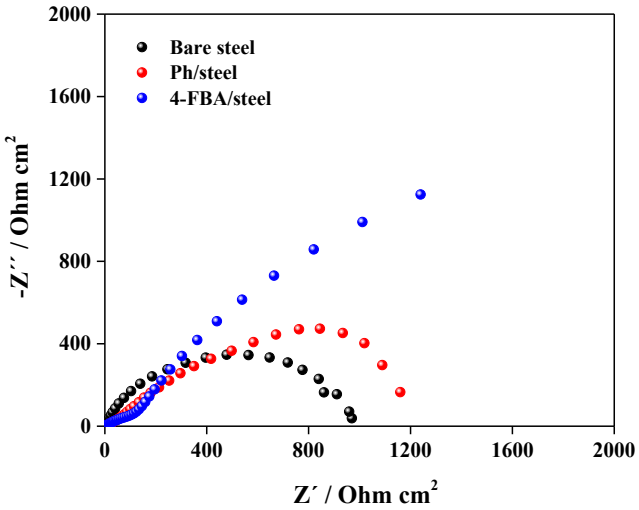
Los experimentos se realizaron en una celda electroquímica con arreglo de tres electrodos, con un electrodo de referencia de calomel saturado (ECS) y un electrodo auxiliar de grafito. Los análisis de corrosión se llevaron a cabo en un potenciostato VSP-300 (Bio-Logic Science Instruments®) con el *software* EC-Lab® v.10.32.

Resultados y discusión

El efecto protector del injerto de grupos fenilo y del ácido 4-fenilbutírico sobre la superficie de acero 1018, se estudió mediante espectroscopía de impedancia electroquímica. Como se muestra en la figura 2, se observó un proceso de transferencia de carga típico del acero, el cual corresponde a la reacción anódica $Fe^0_{(s)} \rightarrow Fe^{2+}_{(ac)} + 2e^-$. El electrodo modificado con grupos fenilo mostró una mayor resistencia a la transferencia de carga (R_{ct}), al igual que el electrodo modificado con ácido 4-fenilbutírico. Además, en bajas frecuencias se observó un

pequeño semicírculo, el cual puede atribuirse a un segundo proceso de transferencia de carga por la presencia de una reacción química acoplada, posiblemente la oxidación anódica del grupo carboxilo o de los grupos fenilo presentes en la nanopelícula insertada.

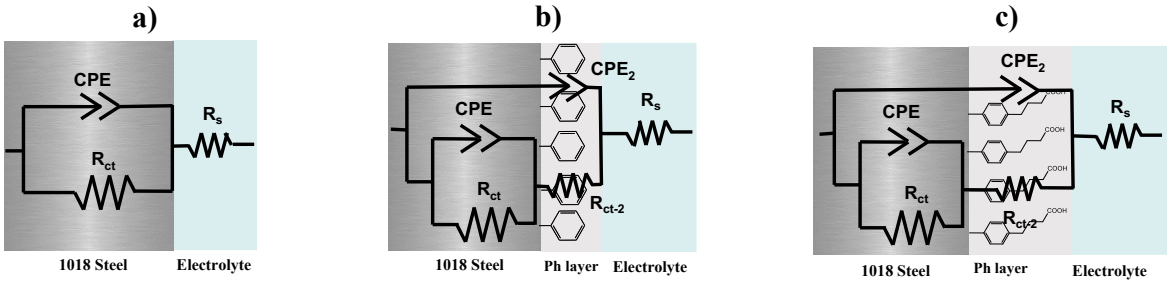
Figura 2. Diagrama de Nyquit para el electrodo de acero modificado con grupos fenilo (Ph-steel) y el acero modificado con el ácido 4-fenilbutírico (4-FBA) en NaCl 3.5 %. Va = 10 mV; *f* = 10 mH - 100 kHz



Fuente: elaboración propia.

Los resultados de impedancia fueron simulados con los circuitos equivalentes que se muestran en la figura 3. Se utilizó un elemento de fase constante (CPE) con el fin de aproximar el comportamiento no ideal de un capacitor, debido a defectos superficiales [6]; además, se agregó un segundo CPE y R_{ct} para analizar el comportamiento dieléctrico de la nanopelícula.

Figura 3. Circuitos equivalentes para los electrodos: a) Acero 1018 sin modificar; b) Acero 1018 modificado con grupos fenilo; y c) Acero 1018 modificado con ácido 4-fenilbutírico



Fuente: elaboración propia.

Los resultados de las simulaciones de impedancia con los circuitos equivalentes, se muestran en la tabla I. Los valores de χ^2 estuvieron en un intervalo de 10^{-3} – 10^{-4}, lo que indicó el buen ajuste de los datos con los circuitos equivalentes planteados.

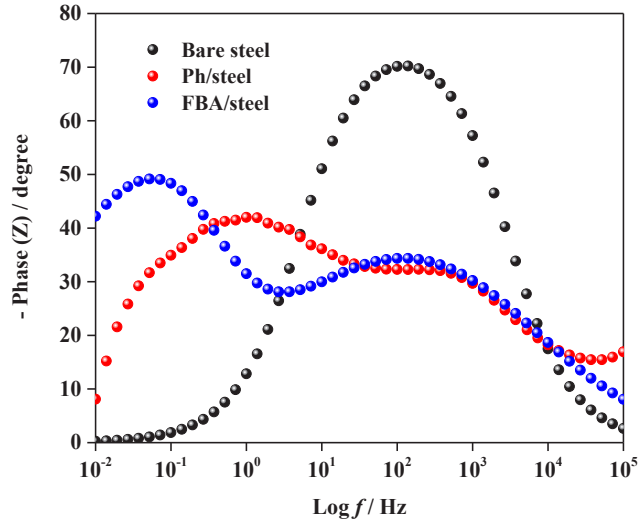
Tabla I. Parámetros ajustados de las simulaciones con los circuitos equivalentes para el electrodo de acero 1018 no modificado y modificado en NaCl 3.5 %

Electrode	EIS parameters							
	R_s (Ω cm^2)	CPE ($s^n/\ \Omega$ cm^2)	n	R_{ct} (Ω cm^2)	CPE-2 ($s^n/\ \Omega$ cm^2)	R_{ct-2} (Ω cm^2)	n-2	χ^2
Bare steel	3.8(0.04)	$0.89\times10^{-3}(1.6\times10^{-6})$	**0.8**	**983.9(22.1)**	-	-	-	8.4×10^{-4}
Ph/steel	5.3(0.06)	$0.47\times10^{-3}(2.1\times10^{-6})$	0.7	**1579.1(39.5)**	$0.95\times10^{-3}(2.1\times10^{-6})$	134.5(7.8)	0.5	4.5×10^{-3}
4-PBA/steel	4.6(0.09)	$2.16\times10^{-3}(0.85\times10^{-6})$	0.8	**5916.3(44.9)**	$1.16\times10^{-3}(3.6\times10^{-6})$	211.3(9.9)	0.5	2.8×10^{-3}

Fuente: elaboración propia.

Los resultados mostraron un efecto protector al insertar grupos fenilo y del ácido 4-fenilbutírico, dado el aumento de la R_{ct} en ambos casos respecto al del acero no modificado. Por otra parte, se observó que las nanopelículas tienen un efecto significativo en el proceso de protección del acero 1018, puesto que se registraron valores de R_{ct} de 134.5 Ω cm^2 y 211.3 Ω cm^2 para los grupos fenilo y ácido 4-fenilbutírico, respectivamente, lo que indicó la posibilidad de que se lleven a cabo reacciones químicas acopladas [7]. El diagrama de Bode (figura 4) mostró dos constantes de tiempo para los electrodos modificados con grupos fenilo y ácido 4-fenilbutírico, por lo que la idea anterior puede considerarse correcta.

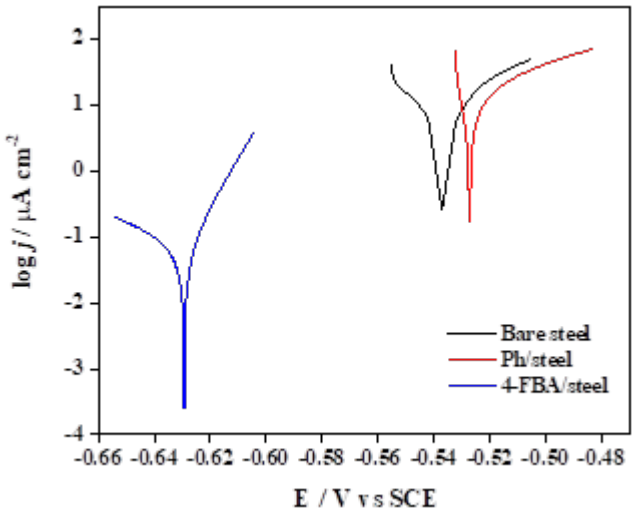
Figura 4. Circuitos equivalentes para los electrodos: Acero 1018 sin modificar (línea negra); acero 1018 modificado con grupos fenilo (línea roja); y acero 1018 modificado con ácido 4-fenilbutírico (línea azul)



Fuente: elaboración propia.

La eficiencia de inhibición a la corrosión de los recubrimientos insertados, se evaluó mediante polarización lineal por las pendientes de las curvas de Tafel (figura 5). El efecto de los grupos fenilo (línea roja) aparentemente le confirió una baja resistencia a la polarización al electrodo de acero 1018, ya que el potencial de corrosión (E_{corr}) se desplazó ligeramente a valores más catódicos; no obstante, la nanopelícula de ácido 4-fenilbutírico tuvo un efecto significativo, porque la curva de polarización se recorrió hacia potenciales menos catódicos y se registró un valor más pequeño de densidad de corriente (*j*), por lo que la reacción anódica del acero se volvió cinéticamente desfavorable, haciendo evidente el efecto protector.

Figura 5. Diagrama de Tafel para el electrodo de acero 1018 sin modificar (línea negra); modificado con grupos fenilo (Ph/steel) (línea roja); y con ácido 4-fenilbutírico (4-FBA/steel) (línea azul) en NaCl 3.5 %. v = 0.166 mV s^{-1}; E = ± 25 mV



Fuente: elaboración propia.

En la tabla II se muestran los parámetros de polarización lineal. La menor velocidad de corrosión (V_{corr}), se obtuvo con la nanopelícula del ácido 4-fenilbutírico, la cual mostró una eficiencia de inhibición de 97.69 %.

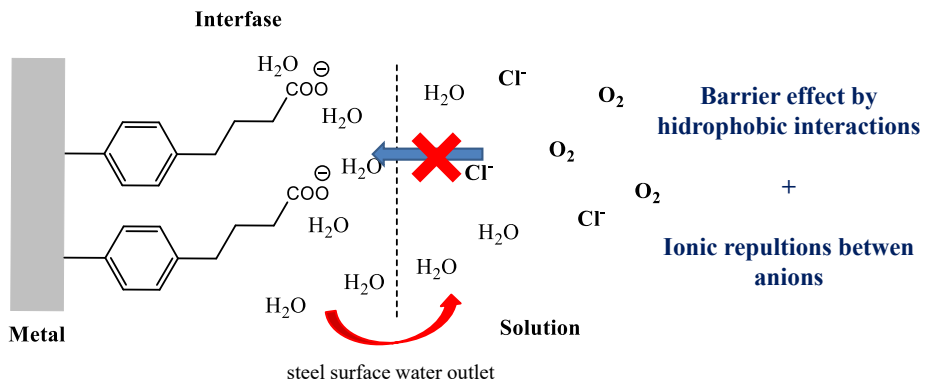
Tabla II. Parámetros ajustados de las simulaciones con los circuitos equivalentes para el electrodo de acero 1018 no modificado y modificado en NaCl 3.5 %

Electrode	E_{corr} (mV)	j_{corr} (μA cm^{-2})	β_a (mV/dec)	β_b (mV/dec)	V_{corr} (mm/year)	E_{inh} (%)
Bare steel	-537.4	**3.04**	16.7	15.44	**0.032**	-
Ph/steel	-527.2	**2.19**	6.8	4.3	**0.023**	**27.96**
PBA/steel	-629.3	**0.07**	14.3	53.5	**0.0006**	**97.69**

Fuente: elaboración propia.

Con los datos obtenidos de la espectroscopía de impedancia electroquímica y de la polarización lineal, se planteó un mecanismo de potección que explica cómo la nanopelícula del ácido 4-fenilbutírico inhibe la corrosión. Como se muestra en la figura 6, por el carácter no polar de la molécula se produce un efecto protector por barrera, debido a las repulsiones hidrofóbicas de la cadena alifática y el grupo fenilo que genera constantemente una salida de moléculas de agua y iones desde la interfase hacia la disolución, evitando que estas moléculas alcancen la superficie del acero [8]. Por otra parte, los grupos carboxilo, al estar disociados ($R\text{-}COO^-$), repelen electrostáticamente a los aniones, como los iones cloruro, impidiendo que se lleve la fisiadsorción de estos iones y de otras moléculas (como el oxígeno) en la superficie [9].

Figura 6. Mecanismo de protección propuesto para el injerto del ácido 4-fenilbutírico sobre acero 1018 en NaCl 3.5 %



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Los grupos fenilo y el ácido 4-fenilbutírico, se insertaron sobre la superficie de acero 1018 mediante la reducción *in situ* de las sales de diazonio por vía redox. Los resultados de impedancia electroquímica con el diagrama de Nyquist mostraron una mayor resistencia a la transferencia de carga para el electrodo modificado con el ácido 4-fenilbutírico, además de un segundo semicírculo a bajas frecuencias, lo que indicó la presencia de una reacción química acoplada. El diagrama de Bode confirmó esta idea, porque se observó una segunda constante de tiempo. La nanopelícula del ácido 4-fenilbutírico mostró una eficiencia de inhibición a la corrosión de 97.69 %, lo que indicó la funcionalidad del recubrimiento. Se propuso un mecanismo de protección por efecto barrera, debido a las repulsiones hidrofóbicas y electrostáticas de las moléculas del ácido 4-fenilbutírico con las moléculas de agua, iones y oxígeno disuelto.

Referencias

[1] Farelas, F., Galicia, M., Brown, B., Nesic, S., & Castaneda, H. (2010). *Corros. Sci.*, 52, 509.
[2] Kannan, P., Subba, T., & Rajendran, N. (2016). *J. Mol. Liq.*, 222, 586.
[3] Yousefi, A., Javadian, S. F., Dalir, N., Kakemam, J., & Akbari, J. (2015). *RCS Adv.*, 5, 11697.
[4] Zheng, X., Zhang, S., Li, W., Gong, M., & Yin, L. (2015). *Corros. Sci.*, 95, 168.
[5] Bélanger, D., & Pinson, J. (2011). *Chem. Soc. Rev.*, 40, 3995.
[6] Huang, Y., Shih, H., & F. Mansfeld (2010). *Mater. Corros.*, 61, 302.
[7] Combellas, C., Kanoufi, F., Pinson, J., & Podvorica, F. (2008). *J. Am. Chem. Soc.*, 130, 8576.
[8] Combellas, C., Delamar, M., Kanoufi, F., Pinson, J., & Podvorica, F. (2005). *Chem. Mater.*, 17, 3968.
[9] Yousefi, A., Javadian, S. F., Dalir, N., Kakemam, J., & Akbari, J. (2015). *RCS Adv.*, 5, 11697.

Bases estructurales para el reconocimiento molecular de inhibidores de la proteasa principal (M^{pro}) del SARS-CoV-2

Autora: Zaira Pino-Dueñas
Coautores: Manuel Terrazas-López/Manuel Alejandro Martínez-Martínez/
Ángel Gabriel Díaz-Sánchez/Naún Lobo-Galo
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Maestría en Ciencias Orientación en Genómica
Correo: al199234@alumnos.uacj.mx
Tutor: Dr. Naún Lobo-Galo

Resumen

La emergencia zoonótica del SARS-CoV-2 y su alta capacidad de transmisión ha resultado en una pandemia denominada "Coronavirus disease 2019" o COVID-19. Debido a la rápida evolución del virus, además de la implementación de vacunas profilácticas, es necesario desarrollar nuevos antivirales específicos contra el SARS-CoV-2 y sus variantes, incluso, futuros coronavirus emergentes. La cisteín proteasa viral, se identificó como blanco antiviral prometedor, dado que la enzima es necesaria para el establecimiento del complejo de replicación viral.

Adicionalmente, M^{pro} reconoce un sustrato único. Finalmente, la secuencia es poco tolerante a cambios genéticos, por lo que inhibidores podrían ser de amplio espectro. Mediante cribado *in silico* de agentes farmacéuticos aprobados por la FDA y validación experimental de potenciales inhibidores de M^{pro} y sus variantes clínicamente relevantes, el presente proyecto prevé entender las bases del reconocimiento molecular de M^{pro} para el desarrollo y diseño de agentes terapéuticos especializados como tratamiento de SARS-CoV-2 y otros coronavirus.

Introducción

La emergencia zoonótica del SARS-CoV-2 y su alta capacidad de transmisión ha resultado en una pandemia de neumonías atípicas, denominada "Coronavirus disease of 2019" o COVID-19 (Zhu *et al.*, 2020). Análisis de la secuencia genómica de este virus indican que es un coronavirus, filogenéticamente relacionado con otro virus respiratorio patogénico emergente de 2003, SARS-CoV (Severe Acute Respiratory Syndrome-Coronavirus), y por ello, se le denominó SARS-CoV-2 (Zhou *et al.*, 2020). Hasta la fecha, mundialmente se han identificado cuatro variantes (alfa, beta, gamma, delta) (OMS, 2021). La infección viral resulta en un cuadro clínico que varía desde asintomático o leve (80 % de los casos) hasta complicaciones respiratorias graves, trastornos inflamatorios sistémicos y falla de múltiples órganos, e incluso la muerte (1 %-3 %) en los individuos susceptibles con comorbilidades crónicas, hipertensión y diabetes (Zhu *et al.*, 2020; Ledford, 2020; Mahase, 2020). Ante la falta de antivirales específicos para el tratamiento del SARS-CoV-2, se requiere la evaluación de fármacos seguros existentes que puedan interferir con procesos esenciales para el ciclo de replicación viral. Un proceso esencial para la replicación del coronavirus es la proteólisis del complejo de replicación viral mediada por dos proteasas codificadas por el mismo virus. La proteasa principal (M^{pro} o $3CL^{pro}$) reconoce una secuencia no-

canónica (no reconocida por ninguna proteasa humana); consecuentemente, su inhibición competitiva se propone como un importante blanco quimioterapéutico antiviral selectivo y seguro (Zhang *et al.*, 2020). Adicionalmente, el entendimiento del mecanismo de inhibición selectiva de estos compuestos podría dar pautas para el diseño y desarrollo de nuevos antivirales específicos, y a la vez, prever posibles mecanismos de resistencia a dichos medicamentos. En el presente proyecto, se pretende adicionalmente desarrollar una estrategia segura para la evaluación de estos compuestos *in vivo* en cultivos celulares independiente de la infección viral.

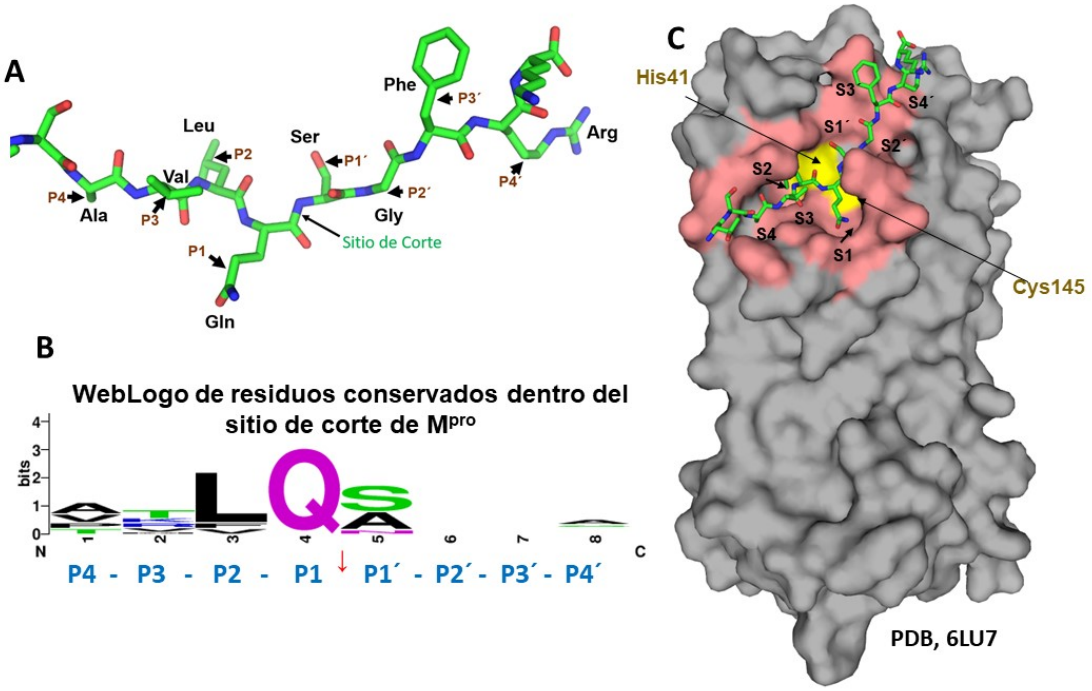
Desarrollo

Justificación

Las proteasas codificadas por el SARS-CoV-2 (Zhang *et al.*, 2020), y otros coronavirus (Thiel *et al.*, 2003; Ziebuhr, 2004), son esenciales para el establecimiento de la infección intracelular y la replicación viral. M^{pro}, también conocida como proteasa tipo quimiotripsina 3 ($3CL^{pro}$), es una cisteín proteasa que contiene una diada catalítica (His41 y Cis145), que reconoce once sitios de ocho residuos de aminoácidos parcialmente conservados en el extremo carboxiterminal de la poliproteína precursora del complejo de replicación viral (figura 2), lo que resulta en la liberación de doce proteínas no-estructurales (NSP4-NSP15) funcionales, necesarias para la formación de la vesícula de doble membrana (NSP4 y NSP6) y el complejo enzimático RNA-polimerasa, dependiente de RNA (RdRNAp), formado de los NSP7-NSP15 necesarios para la transcripción de genes estructurales y la replicación viral dentro de la vesícula de doble membrana (Muramatsu *et al.*, 2016). El alineamiento de secuencias del péptido sustrato y el análisis por WebLogo indican una plasticidad en el reconocimiento de la mayoría de los residuos, con la excepción de tres posiciones: la posición P1, que es siempre ocupada por una glutamina; la posición P2, que es ocupada por un residuo con cadena lateral alifática y larga (Leu/Ile/Val/Phe); y la posición P1' (a la derecha del enlace péptido de corte) ocupada por un residuo pequeño poco hidrofóbico (Ser/Gly/Ala) (figuras 1A y 1B). La superposición del péptido de mayor afinidad a la cavidad activa de la proteasa M^{pro} refleja esta selectividad en el reconocimiento del tipo de residuo en estas tres posiciones críticas y la formación de múltiples interacciones por puentes de hidrógeno entre la amida de la cadena lateral de la glutamina y la cavidad o subsitio S1; extensas interacciones no-hidrofóbicas entre el residuo alifático en la posición P2 y la cavidad S2; y, finalmente, residuos cortos parcialmente en el S1'. Estas tres interacciones conservadas son necesarias para la especificidad del péptido al sitio activo y la coordinación del carbonilo de la glutamina a una distancia para el ataque del nucleófilo por el azufre activado, de la cadena lateral de Cys145 (figura 1C).

De acuerdo con el acoplamiento del péptido sustrato a la cavidad, moléculas que imiten los grupos amida de la glutamina y con cadenas alifáticas son potenciales inhibidores peptidomiméticos altamente selectivos para la proteasa principal M^{pro}, y de baja toxicidad por su posible unión a enzimas celulares, y consecuentemente, con menor probabilidad de causar efectos secundarios durante su uso quimioterapéutico.

Figura 1. Reconocimiento molecular del péptido sustrato de corte a la cavidad activa de M^{pro}. La estructura del péptido sustrato más afín a la cavidad es dada en A. En B: análisis de WebLogo de posiciones conservadas en el sustrato. En C: acoplamiento molecular del péptido sustrato en A a la cavidad activa de la proteasa. Los residuos de unión al sustrato son marcados en color salmón; la diada catalítica es indicada en amarillo; el péptido es marcado en verde; y las cavidades o subsitios donde este se une en la estructura de M^{pro} son indicados por S1-S4 y S1'-S4'



Fuente: elaboración propia.

Metodología

Dada la relevancia de esta proteasa para el establecimiento de la infección del SARS-CoV-2, y la falta de homólogos del sustrato, compuestos que inhiben la actividad proteolítica se proponen como agentes antivirales selectivos para el tratamiento de la COVID-19. Recientemente, un grupo de investigadores de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ) reportó que los fármacos Disulfiram y Captopril, aprobados por la FDA, potencialmente se unen al sitio activo de M^{pro} y reaccionan con el grupo tiol de la cisteína catalítica; y por lo tanto, se proponen como medicamentos con potencial quimioterapéutico antiviral contra el SARS-CoV-2 (Lobo-Galo *et al.*, 2020). Tomando como partida la investigación posterior, se analizó el acoplamiento molecular entre estos dos fármacos y el sitio activo de M^{pro}.

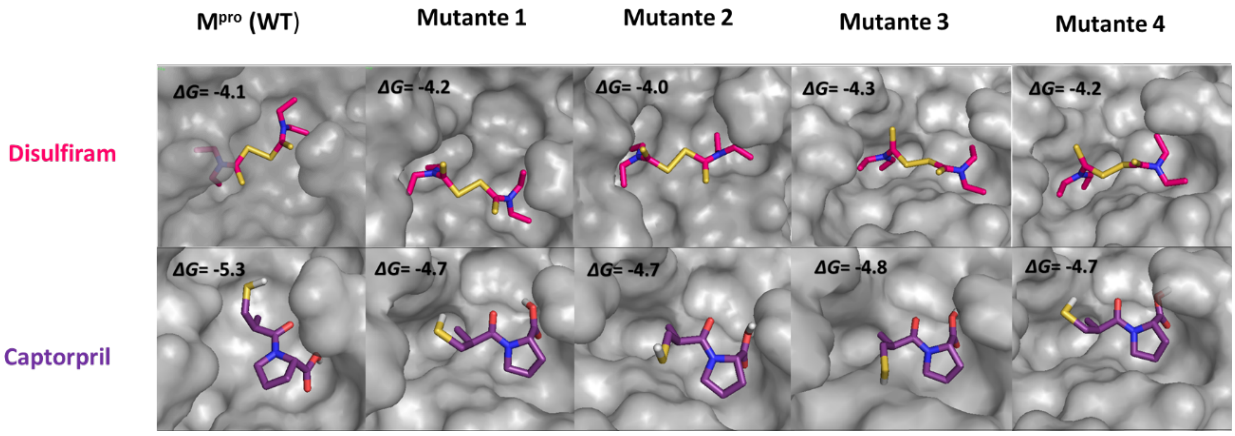
Para los experimentos *in vitro* e *in vivo*, las enzimas recombinantes fueron purificadas a través de una columna de afinidad Ni-NTA agarosa. Las muestras siempre se conservaron a -20 °C en glicerol.

Resultados

Dentro de las variantes clínicamente relevantes, se identificaron un total de cuatro mutaciones dentro de la secuencia de M^{pro} que persistieron en los últimos veintiún meses de la pandemia. Análisis preliminares del efecto de estas sustituciones de residuos indican una tendencia a aumentar la rigidez estructural o reducir la dinámica estructural, y por ende,

podría afectar la unión de potenciales inhibidores a la cavidad activa de M^{pro}. Modelos de la estructura de M^{pro} para cada una de estas variantes fueron construidos y utilizados para el acoplamiento de posibles inhibidores competitivos. Sin embargo, una inferencia del acoplamiento de posibles inhibidores a estas variantes indica que la energía de unión (kcal/mol) es similar, aun en presencia de distintas mutaciones clínicamente relevantes presentes en las variantes (figura 2).

Figura 2. Acoplamiento molecular de inhibidores análogos a la cavidad activa de M^{pro} y cálculo de energía de unión (ΔG)



Fuente: elaboración propia.

Es importante hacer notar que el análisis actual tampoco ha considerado el efecto de mutaciones no-sinónimas permisivas que en el futuro podrían emerger y generar resistencia a estos posibles inhibidores.

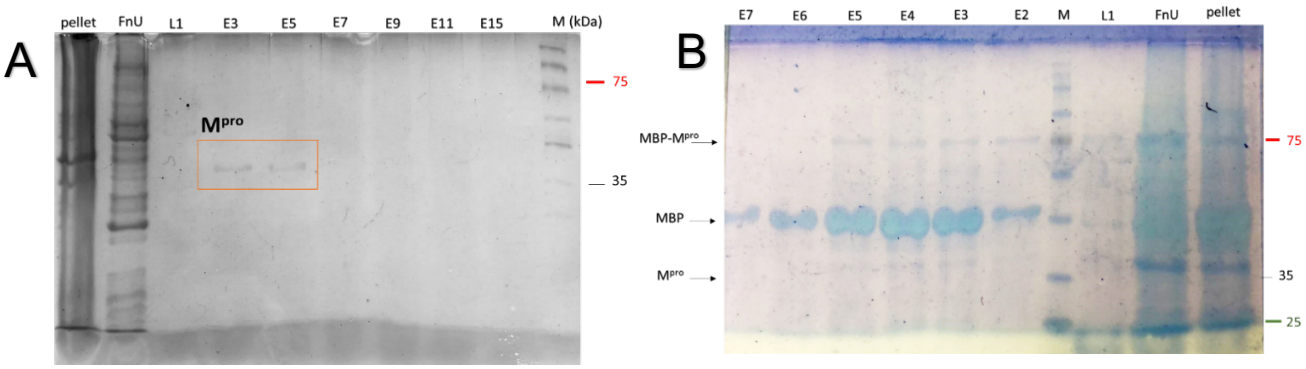
Para validar experimentalmente el potencial inhibitorio de estas moléculas quimioterapéuticas reutilizadas y aprobadas por la FDA, se procedió a expresar en forma recombinante en *Escherichia coli* cepa BL21 (DE3) a la proteasa M^{pro} con una modificación en el extremo aminoterminal consistente en una cola de seis histidinas para su purificación por afinidad en columnas de níquel inmovilizado. De esta manera, se obtuvo la proteína recombinante soluble con un peso molecular de ~35 kDa (consistente con la masa molecular estimada de M^{pro}) en un grado de pureza de ~99 % observada en el gel de acrilamida en condiciones desnaturalizantes, SDS-PAGE, de 15 % inicial (figura 3A).

Dentro de las fracciones eluidas solo se encontró la enzima en las fracciones colectadas (E3 a E5). De estas tres elusiones, se recuperaron 177 µg/ml de proteína. Dado el bajo rendimiento de proteína recombinante, se analizaron fracciones proteicas a lo largo del proceso de extracción y purificación, y se encontró que la mayoría de M^{pro} recombinante se encuentra en la fracción insoluble, posiblemente en forma de cuerpos de inclusión. En un intento para mejorar la solubilidad de la proteína, se probaron tres distintos cosolutos: glicerol (5 %, 10 % y 12.5 %), lisina y arginina (100 mM y 250 mM) en distintos pH de 6.5, 7.5 y 8.0. Sin embargo, ninguna de estas condiciones mejoró significativamente la solubilidad de la enzima.

Por lo tanto, se optó por mejorar la solubilidad de la proteína mediante un diseño quimérico de M^{pro} fusionado en su extremo aminoterminal a la secuencia completa de la proteína de unión a maltosa (MBP). Para facilitar la separación posraduccional (posterior a cosecha) de M^{pro}, se incluyó un sitio de corte de la proteasa TEV (Tabacco Etch Virus) en el espacio entre dos proteínas, así como una cola de histidinas para purificación en columna de afinidad. Una vez transformada *E. coli* BL21 con el plásmido que contiene este nuevo constructo genético, se

procedió a extraer y purificar la proteína recombinante con el mismo protocolo anterior y se analizaron las fracciones eluidas de la columna de afinidad a níquel en un gel de acrilamida SDS-PAGE (figura 3B). En el gel de electroforesis, se observa una banda proteica tenue con una migración relativa de ~75 kDa, consistente con un peso molecular estimado de la proteína quimera MBP-M^{pro}; pero también se notó una segunda banda proteica mucho más intensa con un peso molecular relativo de ~42 kDa, consistente con MBP, y una tercera banda tenue de ~35 kDa, posiblemente, M^{pro} separado de la quimera. Dado que ninguna proteasa celular reconoce este sitio de corte de la proteasa viral TEV, es posible que M^{pro} en su forma quimérica reconozca y corte el sitio de reconocimiento de la proteasa TEV y, por ello, separe las dos unidades, MBP-His y M^{pro} sin cola de histidinas, y por consiguiente, se encuentre en la fracción no unida a la columna de afinidad a níquel (figura 3B, fracción no unida FnU).

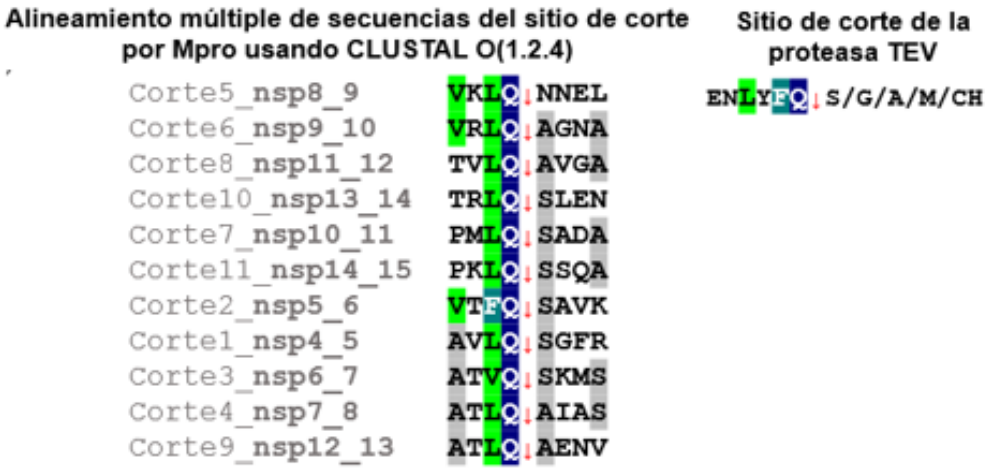
Figura 3. A) Expresión y purificación de M^{pro}. B) Expresión y purificación de MBP-M^{pro}. Las enzimas recombinantes fueron purificadas a través de una columna de afinidad Ni-NTA agarosa. La abreviación FnU hace referencia a la fracción no unida; E, a elusión; y M, al marcador de la masa molecular



Fuente: elaboración propia.

En una comparación de los residuos encontrados en el sitio de reconocimiento de la proteasa TEV y los once sitios de corte de M^{pro} en la poliproteína precursora del SARS-CoV-2, se observó que las posiciones críticas para unión a las cavidades S1, S2 y S'1' están ocupadas por residuos similares (P2, Phe) o idénticos (P1, Gln; y S1'Gly) a los encontrados en el péptido sustrato de la proteasa del coronavirus (figura 4).

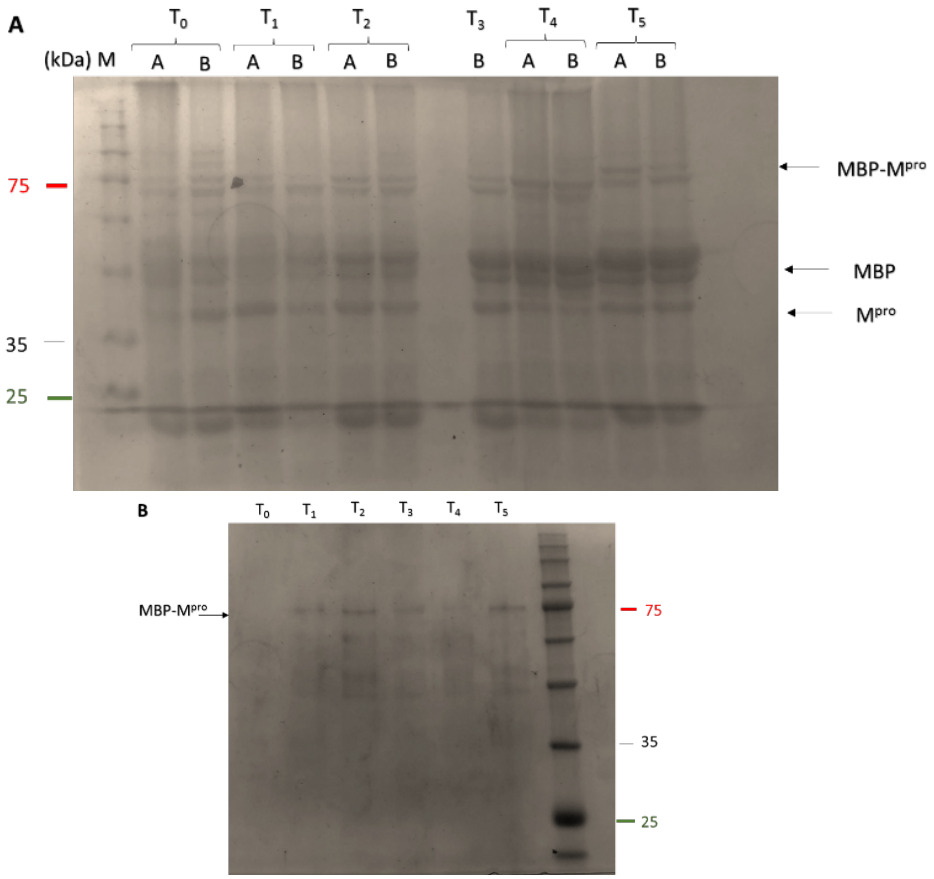
Figura 4. Comparación del sitio de corte de M^{pro} y TEV



Fuente: elaboración propia.

Dada esta actividad de autocorte eficiente de M^{pro} en un sistema quimérico *in vivo*, consecutivamente, se realizó un ensayo de inhibición preliminar para determinar si Disulfiram es capaz de atravesar la doble membrana de la bacteria Gram negativa, *E. coli*, hospedera del plásmido de expresión proteica e inhibir la actividad proteolítica de M^{pro} y la separación de las unidades *in vivo*. Para ello, se indujeron dos suspensiones de *E. coli* transformada con 500 μM IPTG en presencia y ausencia de 100 μM de Disulfiram y se colectaron cada hora fracciones celulares totales, las cuales fueron separadas en geles de acrilamida de SDS-PAGE y se monitoreó la presencia de bandas proteicas prominentes, consistentes con la quimera MBP-M^{pro} completa (~75 kDa) o la separación de las dos unidades: MBP (~40 kDa) y M^{pro} (~35 kDa). Como puede apreciarse en la figura 5, en las muestras colectadas del cultivo donde la inducción proteica se realizó en presencia de disulfiram, se observa que la banda dominante tiene un peso molecular relativo de 75 kDa consistente con la quimera MBP-M^{pro} no autoprocesada (figura 5B), a diferencia la proteína quimera expresa en ausencia de Disulfiram (figura 5A, bandas en las líneas de la derecha del gel), donde las bandas dominantes son MBP (42 kDa) y M^{pro} (35 kDa), indicativo de actividad autoproteolítica de M^{pro}. Por ende, el sistema de expresión de M^{pro} en forma de quimera permite la evaluación rápida *in vivo* de posibles inhibidores de la actividad proteolítica específica.

Figura 5. Geles SDS Page 15 %. A) Se aprecia cómo disminuye MBP-M^{pro} conforme pasa el tiempo de expresión y aumentan las bandas de MBP y M^{pro}. A corresponde al constructo sitio de corte TEV-M^{pro}; y B, al constructo MBP-M^{pro}. B) Se le agregaron 100 µM de disulfiram. Se aprecia una banda que corresponde al constructo MBP-M^{pro}



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

A pesar de la implementación del Programa de Vacunación Profiláctica a nivel mundial para reducir la susceptibilidad a la infección con el SARS-CoV-2 y complicaciones de la COVID-19, el control de la pandemia actual y la emergencia de cepas virales resistentes a anticuerpos neutralizantes requiere del diseño y desarrollo de agentes quimioterapéuticos antivirales que bloqueen la infección mediante la inhibición de enzimas codificadas por el virus y necesarias para la síntesis de nuevas partículas virales, como es el caso de la cisteín proteasa M^{pro}. Para ello, es necesario entender las bases del reconocimiento molecular de ligandos a la cavidad y sitio activo de M^{pro} en el contexto de la dinámica estructural y evolutiva de esta proteína viral. Modelos de acoplamiento molecular sugieren que varios fármacos aprobados por la FDA (Disulfiram y Captopril), se unen selectivamente al sitio activo de M^{pro} y sus variantes clínicamente relevantes detectadas hasta el día de hoy.

Adicionalmente, se encontró una plasticidad significativa en el reconocimiento del péptido sustrato, de tal forma que M^{pro} es capaz de cortar el péptido utilizado por la proteasa del picornavirus de plantas TEV. Mediante el uso de una quimera autoprocesable de M^{pro} unida a

través de un sitio de corte TEV a la proteína de unión a maltosa (MBP), es posible evaluar la actividad *in vivo* de posibles inhibidores por medio de un método más accesible y de bajo presupuesto para los investigadores.

Referencias

Elbe, S., & Buckland-Merrett, G. (2017). Data, Disease and Diplomacy: GISAID's Innovative Contribution to Global Health. *Global Chal.*, 1, 33-46. https://doi.org/10.1002/gch2.1018 PMCID: 31565258

Ledford, H. (2020). How Does COVID-19 Kill? Uncertainty is Hampering Doctors' Ability to Choose Treatments. *Nature, 580*(7803), 311-312. https://doi.org/10.1038/d41586-020-01056-7

Lobo-Galo, N., Terrazas-López, M., Martínez-Martínez, A., & Díaz-Sánchez, Á. G. (2020). FDA-approved Thiol-reacting Drugs that Potentially Bind into the SARS-CoV-2 Main Protease, Essential for Viral Replication. *J. Biomol. Struct. Dynam.*, 1-9. https://doi.org/10.1080/07391102.2020.1764393

Mahase, E. (2020). Coronavirus COVID-19 has Killed More People than SARS and MERS Combined, Despite Lower Case Fatality Rate. *BMJ*, 368, m641. https://doi.org/10.1136/bmj.m641

Muramatsu, T., Takemoto, C., Kim, Y. T., Wang, H., Nishii, W. *et al.* (2016). SARS-CoV 3CL Protease Cleaves its C-terminal Autoprocessing Site by Novel Subsite Cooperativity. *Proc. Nat. Acad. Sci. Unit. St. Am., 113*(46), 12997-13002. https://doi.org/10.1073/pnas.1601327113

Thiel, V., Ivanov, K. A., Putics, Á., Hertzig, T., Schelle, B. *et al.* (2003). Mechanisms and Enzymes Involved in SARS Coronavirus Genome Expression. *J. Gen. Vir., 84*(Pt 9), 2305-2315. https://doi.org/10.1099/vir.0.19424-0

Zhang, L., Lin, D., Sun, X., Curth, U., Drosten, C. *et al.* (2020). Crystal Structure of SARS-CoV-2 Main Protease Provides a Basis for Design of Improved α-ketoamide Inhibitors. *Science, 368*(6489), 409-412. https://doi.org/10.1126/science.abb3405

Zhou, P., Yang, X.-L., Wang, X.-G. *et al.* (2020). A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin. *Nature*, 579, 270-273. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2012-7

Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B. *et al.* (2020). China Novel Coronavirus Investigating and Research Team (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *New Eng. J. Med., 382*(8), 727-733. https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017

Ziebuhr J. (2004). Molecular Biology of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus. *Cur. Op. Microbiol., 7*(4), 412-419. https://doi.org/10.1016/j.mib.2004.06.007

Poliploidización de mandarina (*Citrus reticulata*) para el inicio de la generación de una nueva variedad

Autora: Daniela Sinahi Villalobos Contreras
Coautores: M. C. Laura Beatriz Valle Castillo/Dr. Patricio Arce-Johnson/Ing. Iván Valdez
Universidad Autónoma de Occidente Unidad Regional Guasave
Programa: Licenciatura en Biología
Correo: Villalobosdaniela479@gmail.com
Tutora: Dra. Jesús Lucina Romero Romero

Resumen
Los cítricos son uno de los cultivos más importantes en regiones tropicales, subtropicales y templadas; se cultivan en más de cien países donde representan una elevada importancia económica y social. Uno de los retos que enfrentan estos cultivos es la preferencia de los mercados por frutos sin semilla; esta condición se da cuando la mandarina está aislada de otros cítricos, puesto que el polen de otras especies es capaz de inducir el proceso de fecundación, desarrollo del embrión y presencia de semilla en la fruta. Una manera alternativa de evitar la generación de frutos con semilla, es mediante la inducción de la poliploidización, de tal manera que se generen números impares de cromosomas, impidiendo el proceso de formación de semillas en los frutos. En este trabajo, se utilizaron semillas de mandarina que fueron expuestas a tratamientos de inducción de poliploidización *in vitro* en un medio MT suplementado con colchicina a diferentes concentraciones, con el fin de obtener plantas tetraploides (4n), que en el futuro serán cruzadas mediante técnicas de mejoramiento convencional con plantas diploides (2n) para obtener plantas triploides (3n), las cuales generarían frutos sin semilla.

Palabras clave: *citrus*; mandarina; poliploidización; colchicina; estomas.

Introducción
En la actualidad, el desarrollo de técnicas moleculares ha permitido realizar mapas de ligamento del genoma de los cítricos y se dispone de marcadores de ADN asociados a caracteres de interés, pudiendo ser útiles en la realización de una selección temprana de la progenie con los caracteres deseados en programas de mejora clásica. De cualquier modo, el número de marcadores asociados a genes de interés sigue siendo aún muy escaso en la citricultura.

Por otro lado, el mejoramiento genético de los cítricos se dirige tanto a la obtención de nuevas variedades como de patrones y tiene como objetivo general la introducción de resistencia o tolerancia al estrés biótico y abiótico, así como la mejora de la calidad de los frutos. El uso de técnicas biotecnológicas, como la poliploidización, ha facilitado la obtención de genotipos de cítricos poliploides (Gmitter *et al.*, 1992) mediante el cultivo de tejidos *in vitro* en medios adicionados con agentes antimitóticos, como la colchicina (Soost, & Cameron, 1969).

Un desafío muy importante para resolver en el caso de los cítricos, es la demanda del consumidor de frutos sin semilla, de mayor calidad y que produzcan durante todo el año, lo que requiere la generación de nuevas variedades. En este contexto, la mejora genética enfocada en la remoción de semilla de los cítricos tiene una elevada prioridad en todos los países productores de este frutal. En la actualidad, la generación de frutos sin semilla se logra manteniendo los cultivos aislados de polinizadores, lo cual requiere de elevadas inversiones para la colocación de mallas de protección. Maneras alternativas de lograr la generación de frutos sin semillas es mediante la inducción de la poliploidización, de tal manera que permita la generación de plantas con números impares de cromosomas, impidiendo el proceso de formación de semillas en los frutos.

Justificación

El cultivo de la mandarina (*Citrus reticulata*) es uno de los más importantes a nivel mundial por las divisas que genera con base en sus usos gastronómicos y múltiples beneficios para la salud. En México se siembran 21 675 hectáreas de mandarina en 19 estados, lo que da como resultado una producción de 300 065 toneladas. Un desafío muy relevante en este frutal es la demanda de los mercados por frutos sin semilla y la ausencia de variedades estables con dicho fenotipo.

Por lo anterior, el uso de herramientas biotecnológicas, como la poliploidización, se hace relevante considerando que es una técnica que permite la generación de frutos sin semilla, al posibilitar la generación de plantas con números impares de cromosomas, lo cual impide el proceso de formación de semillas en los frutos.

Asimismo, se considera relevante mencionar que la obtención de una nueva variedad de mandarina sin semilla, además de su alto impacto económico, tendrá un impacto ambiental favorable, ya que al ser frutos infértiles no necesitan de un polinizador.

Metodología

1. Establecer un protocolo óptimo para el cultivo *in vitro* de semillas de mandarina (*C. reticulata*).

Lugar del experimento

La investigación se llevó a cabo en el Departamento de Biotecnología Agrícola del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR), en la ciudad de Guasave, Sinaloa.

*Obtención de semillas de mandarina (*C. reticulata*)*

Las semillas se obtuvieron de frutas frescas comercializadas en el mercado municipal de Guasave, Sinaloa.

Elaboración del medio de germinación

El medio utilizado para la germinación estaba constituido por sales del medio basal MS (Murashige, & Skoog, 1962), suplementado con myo-inositol 0.7 gr/L y PPM 2 ml/L. El pH del medio fue ajustado a 5.7. Se añadieron 7 g/L de agar bacteriológico como agente gelificante. El medio fue distribuido en frascos de vidrio y, posteriormente, esterilizado en autoclave automática a una temperatura de 121 °C durante 15 minutos.

Establecimiento del protocolo de desinfección de las semillas

- Imbibición de semillas durante 24 horas en una solución antifúngica Captan, a una concentración de 10 g/L
- Lavado con agua destilada estéril. Traslado a campana de flujo laminar

- Desinfección con hipoclorito de sodio al 50 % adicionado con 1-3 gotas de Tween 20 durante 10 minutos
- Lavado con etanol al 70 % durante 1 minuto
- Lavado con agua destilada
- Remoción de testa de las semillas
- Lavado con hipoclorito de sodio al 30 % durante 5 minutos.
- Remoción de la capa nucelar de las semillas desinfectadas

Siembra de semillas de mandarina en un medio para la germinación
Culminado el protocolo de desinfección, se colocaron 10 semillas por frasco con el medio de germinación establecido y se almacenaron para su crecimiento en una cámara controlada a 25 °C en completa oscuridad.

2. Generar plántulas de mandarina (*C. reticulata*), a partir de semillas sometidas a tratamiento con agente antimitótico.

Inducir poliploidización in vitro *en semillas de mandarina sometidas a tratamiento con colchicina*
Se incubaron semillas de mandarina (*C. reticulata*), previamente desinfectadas, durante 2 horas con el agente antimitótico colchicina a diferentes concentraciones (1 % y 2 %).

Aclimatación de plantas en sustrato
Todas las semillas de mandarina germinadas, se traspasaron a vasos provistos de sustrato Peat moss:Perlita (1:1). Seguido se llevaron a la cámara de crecimiento con condiciones controladas a 25 °C.

3. Caracterizar fenotípica e histológicamente plantas de mandarina generadas bajo tratamientos de poliploidización

Caracterización morfológica de plantas de mandarina potencialmente poliploides generadas bajo tratamientos con colchicina
- Hojas maduras de las posibles líneas poliploides generadas y control fueron escindidas
- Luego se realizaron impresiones del envés de las hojas escindidas con ayuda de esmalte de uñas transparente
- Las impresiones se colocaron en portaobjetos para determinar la densidad estomática (superficie de 0.25 mm^2 bajo microscopio óptico NIKON Eclipse 80ie).

Resultados

1. Establecer un protocolo óptimo para el cultivo *in vitro* de semillas de mandarina (*C. reticulata*).

Elaboración del medio de germinación
El medio utilizado para la germinación de semillas de mandarina constituido por sales del medio basal MS (Murashige, & Skoog, 1962), suplementado con myo-inositol 0.7 gr/L y PPM 2 ml/L, presentó elevados porcentajes de germinación.

Establecimiento del protocolo de desinfección de las semillas
El protocolo de desinfección utilizado resultó ser adecuado para el establecimiento del cultivo, por lo que se obtuvo un porcentaje mínimo de contaminación.

Siembra de semillas de mandarina en un medio para la germinación

Las semillas establecidas *in vitro* en frascos en el medio para la germinación resultaron con una germinación superable a la contaminación.

Tabla 1. Porcentaje de germinación de semillas de mandarina bajo protocolo de desinfección establecido

% de germinación	% de contaminación
90	10

Fuente: elaboración propia.

2. Generar plántulas de mandarina (*C. reticulata*), a partir de semillas sometidas a tratamiento con agente antimitótico.

Inducir poliploidización in vitro *en semillas de mandarina sometidas a tratamiento con colchicina*

Durante el establecimiento del cultivo *in vitro*, se obtuvo un porcentaje de contaminación considerable en ambos tratamientos, observándose en el caso de la germinación un 36 % en el tratamiento 1 (colchicina 1 %) y un 40 % en el tratamiento 2 (colchicina 2 %) de semillas libres de contaminación.

Tabla 2. Tratamiento de poliploidización de semillas de mandarina con colchicina al 1 %

Tiempo	Núm. semillas tratadas	Núm. semillas germinadas	% germinación
Control	20	6	30
6 horas	49	15	31
12 horas	58	33	57
24 horas	60	17	28
		Fuente:	36 %

Tabla 3. Tratamiento de poliploidización de semillas de mandarina con colchicina al 2 %

Tiempo	Núm. semillas tratadas	Núm. semillas germinadas	% germinación
Control	20	7	35
6 horas	60	19	32
12 horas	39	25	64
24 horas	59	17	29
			40 %

Fuente: elaboración propoia.

Aclimatación de plantas en sustrato

En total 139 plantas germinadas *in vitro* fueron transferidas a condiciones de sustrato y mantenidas bajo condiciones en una cámara de crecimiento bajo condiciones controladas a 25 °C, obteniendo un 100 % de sobrevivencia, alcanzando tamaños aproximados de 15-20 cm de altura. Es importante señalar que algunas de las líneas generadas bajo tratamientos de poliploidización presentaron un crecimiento más acelerado, una tonalidad más verde en sus hojas, así como un mayor número de hojas.

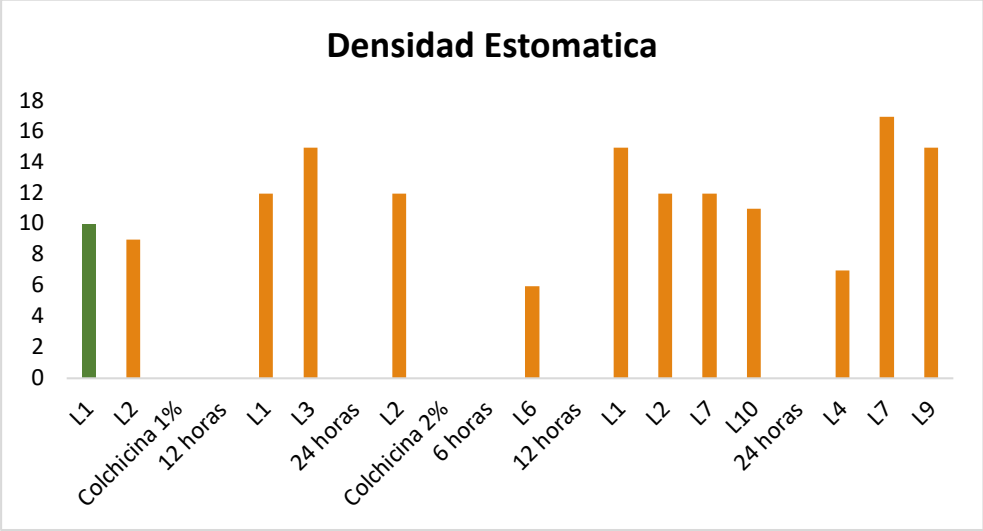
Caracterizar morfológica e histológicamente plantas de mandarina generadas bajo tratamientos de poliploidización

Todas las plantas aclimatadas en sustrato fueron analizadas con el protocolo de caracterización a nivel microscópico, teniendo como resultado dieciséis líneas con diferencias significativas respecto al control.

Conclusiones

Los resultados obtenidos tras los bioensayos de poliploidización en mandarina fueron favorables, obteniendo líneas potencialmente poliploides al presentar diferencias en su desarrollo, densidad y número de estomas con los tratamientos con colchicina al 1 % y 2 %. Estudios realizados anteriormente por Morelo Paredes y Viloria Narváez (2015) mostraron que las plantas tratadas con solución de colchicina a 0.10 % durante 48 y 72 horas, lograron la duplicación cromosómica en más del 50 % del tejido. Las tratadas con una concentración de 0.15 % durante 72 horas obtuvieron todas las células poliploides. En la actualidad, se continúa avanzando en la caracterización histológica y bioquímica de las líneas generadas bajo los tratamientos de poliploidización.

Gráfico 1. Análisis de densidad estomática de las posibles líneas poliploides generadas en comparación con el tratamiento control



Fuente: elaboración propia.

Algunas líneas presentaron menor densidad estomática en comparación con el tratamiento control, fenotipo que asocian diversos autores con la inducción de poliploidización; por lo que mayores estudios relacionados con el análisis del tamaño de estomas, cariotipo o contenido del ADN nuclear serán necesarios para determinar la efectiva generación de líneas poliploides de mandarina.

Referencias

Giambiasi Rodríguez, M. A. (2014). Obtención y caracterización de poliploides en *citrus*. https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/handle/20.500.12008/24142

Hasan, N., Raqibul Hasan, M., & Hossain Foysal, S. (2019). *In-vitro* Regeneration of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck from Mature Seed Derived Embryogenic Callus on Different Solid Basal Media. *Sci. Res. Pub.* https://mail.google.com/mail/u/1/#inbox/QgrcJHrhxnqtlvqGmsdhBdXCRtHHgDCBlQB?projector=1&messagePartId=0.1

Khan, F., Hoque, H., & Islam, Q. (2019). An Efficient Regeneration System for Native Orange (*Citrus reticulata*) through in-vitro Culture Technique. *Agric. Sci.* https://mail.google.com/mail/u/1/#inbox/QgrcJHrhxnqtlvqGmsdhBdXCRtHHgDCBlQB?projector=1&messagePartId=0.4

Morelo Paredes, T., & Viloria Narváez, M. (2015). Inducción de poliploidía con colchicina en vitroplantas de aloe vera (L.). http://www.scielo.org.co/pdf/biote/v20n1/0123-3475-biote-20-01-97.pdf

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2019). Mandarina, *citrus reticulata/rutaceae. Frut. Hort.* https://www.frutas-hortalizas.com/Frutas/Origen-produccion-Mandarina.html#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20mundial%20se%20estima,europea%20de%202.200.000%20toneladas

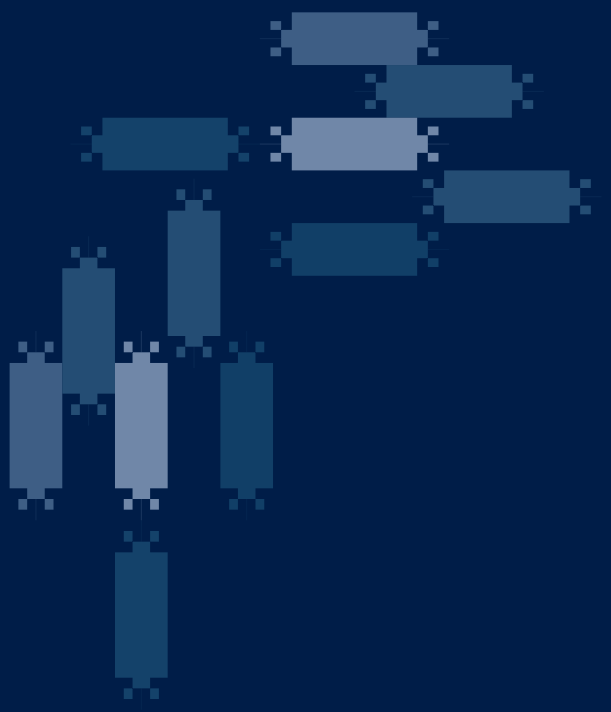
Ramírez Godina, F., Robledo Torres , V., & Pournavab, F. (2013). Caracterización de tetraploides y formación de híbridos triploides en tomate de cáscara. *Rep. Acad. Dig.* http://eprints.uanl.mx/6999/

Raqibul Hasan, M., & Hasan, M. (2019). In-vitro Regeneration of *Citrus sinensis* (L.) Osbeck from Mature Seed Derived Embryogenic Callus on Different Solid Basal Media. *Am. J. Plant Sci.* file:///C:/Users/dhamar/Downloads/In-Vitro%20Regeneration%20of%20Citrus%20sinensi...%20Callus%20on%20Different%20Solid%20Basal%20Media.pdf

Roussos, P. A., Dimitriou, G., & Voloudakis, A. E. (2011). N-(2-chloro-4-pyridyl)-N-Phenylurea (4-CPPU) Enhances *in vitro* Direct Shoot Organogenesis of *Citrus aurantium* L. Epicotyl Segments Compared to Other Commonly Used Cytokinins. *Dialnet*. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3662796

ÁREA III.

MEDICINA Y CIENCIAS DE LA SALUD



Síndrome por retraso en el desarrollo cognitivo con fenotipo Bain ligado al cromosoma X, con componente autístico y epilepsia, relacionado con mutación de novo en HNRNPH2 en una niña de 6 años

Autor: Jesús David Gómez Garrido
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Médico Cirujano
Correo: al140651@alumnos.uacj.mx
Tutora: Dra. Ana Carolina Aguilar Venegas

Resumen
La familia de ribonucleoproteínas nucleares heterogéneas (HNRNPNH) tienen una participación importante en el proceso de maduración, estabilización y transporte de los ARNm, así como en el metabolismo de los ácidos nucleicos. Debido a que alteran la expresión genómica han sido relacionadas con diversos desórdenes neurodegenerativos. En este reporte de caso, se presenta a una paciente de seis años de edad con manifestaciones fenotípicas de retraso en el desarrollo cognitivo, autismo y epilepsia. Utilizando secuenciación de exoma completo, se ha descubierto una mutación heterocigota patogénica en HNRNPH2, localizada en el cromosoma X relacionada al fenotipo Bain, la cual según diversos reportes de caso solo se presenta en el sexo femenino y se encuentra estrechamente relacionada con el fenotipo presentado por la paciente.

Palabras clave: HNRNPH2; autosómico dominante; ligado a X; autismo; fenotipo Bain; retraso cognitivo.

Introducción
Un gran número de desórdenes se han relacionado extensamente al cromosoma X; entre ellos, algunos trastornos del neurodesarrollo [1], incluyendo los trastornos del espectro autista [2]. Aquí se describe el caso de una paciente en quien hemos encontrado variaciones de novo en un aminoácido específico de la ribonucleoproteína nuclear heterogénea H2 (HNRNPH2 [MIM: 300610]). Dicha proteína es codificada por el gen del mismo nombre, en el *locus* Xq22.1 (GenBank: NM_019597.4); y codifica para el miembro de una extensa familia de ribonucleoproteínas nucleares: las HNRNPN [3].

Estas proteínas son necesarias como transportadoras del pre-mARN; debido a su estructura contienen distintos sitios de unión a ARN libres, como los motivos de reconocimiento del ARN o consensos secuenciales de ribonucleoproteínas, los cuales permiten la manipulación del pre-mARN y el transporte de estas moléculas, a través del núcleo y el citosol hasta el espliceosoma para su corte y empalme, controlando así el proceso de *splicing* [4].

El control de la expresión genética de los diferentes tipos celulares y del desarrollo, es posible gracias a procesos de corte y empalme alternativos en la producción de los múltiples mARN de un gen único [5]. Cuando el proceso de corte y empalme alternativo es aberrante ocurren múltiples enfermedades neurológicas [6, 7]; entre ellas, el síndrome por retraso en el desarrollo cognitivo ligado al cromosoma X con fenotipo de Bain [2; 8], que es caracterizado por retraso y alteraciones del desarrollo cognitivo con incapacidad intelectual, autismo, hipotonía y convulsiones [2].

Otros síntomas pueden incluir: regresión del desarrollo, desórdenes de conducta, espasticidad muscular, ataxia, microcefalia, dismorfias faciales y estatura baja. Algunos individuos pueden desarrollar trastornos mentales, como trastorno de ansiedad, trastorno por déficit de atención e hiperactividad, trastorno obsesivo-compulsivo y conductas estereotípicas [2]. Afecta mayormente al sexo femenino y solo existen tres reportes de caso masculinos y nueve femeninos globalmente [2; 8; 9]. La mutación que se presenta como la variante de nucleótido CGG > TGG en c.616C > T (p.R206W), Cr X, ha sido reportada como una mutación de novo relacionada con el fenotipo clínico [2].

Descripción del caso clínico

Se trata de un paciente pediátrico femenino de once años de edad con diagnóstico definitivo de Síndrome por retraso en el desarrollo cognitivo con fenotipo Bain ligado al cromosoma X, con variante patogénica en heterocigosis detectada en el gen HNRNPH 2, relacionada con el fenotipo clínico; con componente autístico y epilepsia.

Comienza en septiembre de 2015 con crisis convulsivas parciales tónico-clónicas sin ausencias reportadas ni periodos de aura, de 3 minutos de duración estimada, las cuales han sido refractarias a tratamiento anticonvulsivante (Keppra [Levetiracetam] iniciando con 5.5 mg hasta 7 mg cada 12 h y, posteriormente, se inició Epidiolex [Cannabidiol] 100 mg/ml cada 12 h) por más de 5 años; sin embargo, existe una reducción en la frecuencia con un promedio de hasta 3 por mes en la intensidad de las mismas, evidenciándose en electroencefalografías de control.

Además, la paciente manifiesta rasgos de microcefalia posnatal; retraso del neurodesarrollo psicomotor con hipotonía severa generalizada; ausencia de lenguaje; baja estatura; dentición anómala; epicanto palpebral y anormalidades oftálmicas (miopía y estrabismo); hiporexia; pérdida variable de peso y manifestaciones de conductas autísticas (ausencia de contacto visual, conducta social deficiente con pobre interacción con otros niños y sin manifestaciones de necesidad de apego); inadaptabilidad escolar; déficit de atención e hiperactividad; y trastorno de ansiedad generalizado con manifestaciones de agorafobia sin desencadenante reportado, lo cual es compatible con el fenotipo Bain del Síndrome de retraso en el desarrollo cognitivo ligado al cromosoma X. Se inició tratamiento estimulante de la plasticidad sináptica con Epidiolex, Renacenz (Cerebrolysin) y un ciclo de Idebenone cada 24 horas, con ajuste periódico a las necesidades del paciente, mejorando los síntomas de fatiga, hipotonía, alteraciones del lenguaje y déficit de atención. Además, se inició tratamiento con Sertralina 50 mg y Motruxia (Aripiprazol 10 mg) cada 24 horas, evidenciando clínicamente mejoría en los síntomas de ansiedad y agorafobia.

Se adicionó, además, suplementación con Conecta Junior Grajeas (multivitamínico pediátrico, omega 3, DHA, *pine bark*, zinc, magnesio, vitamina B6) y melatonina 3 mg cada 24 horas. En marzo de 2017, se realizó extracción de 6 piezas dentales por problemas en la dentición y en septiembre de 2019, se efectuó la colocación de una bolsa de gastrostomía para alimentación. Respecto a los síntomas oftálmicos, se llevó a cabo la corrección con lentes de armazón graduados.

Con consentimiento médico autorizado por el responsable legal de la paciente, se realizaron en 2014 estudios de microarreglos cromosómicos sin reporte de anormalidades. Estudios previos de cariotipo no mostraron anomalías cromosómicas.

En 2017 se llevó a cabo la secuenciación del exoma completo (SEC), tanto de la paciente como de ambos progenitores. Se detectó una variante patogénica como mutación de novo en heterocigosis c.616 > T (p.R206W) en el gen HNRNPH2 del ADN del paciente, la cual no fue encontrada en el ADN progenitorial. Se efectuó la confirmación mutacional con una prueba de secuenciación de Sanger, la cual también reveló la ausencia de mutación en el genoma materno. La presencia de la variante patogénica en el gen HNRNPH2 de la paciente es consistente con el fenotipo descrito. No se ha realizado prueba de Sanger confirmatoria de la ausencia mutacional en el ADN paterno.

Utilizando SEC, no se encontraron variantes de significancia clínica en genes relacionados con el fenotipo presentado de la enfermedad. Además, se encontraron variantes de significancia clínica desconocida en genes relacionados con el fenotipo clínico, entre los cuales se presentaban algunos con variantes heterocigotas en genes relacionados con el fenotipo del paciente.

Respecto a los desórdenes dominantes, se encontraron variantes genómicas que fueron heredadas de un progenitor. Sin embargo, no se encontraron variantes para desórdenes recesivos.

No se detectaron por SEC variaciones patológicas en genes no relacionados con el fenotipo clínico presente. Tampoco se encontraron secuenciaciones portadoras para desórdenes mendelianos. *Whole Mitochondrial Genome Sequencing*: no se encontraron deleciones amplias o mutaciones deletéreas conocidas en el genoma mitocondrial. SEC resulta positivo para dos variables farmacogenéticas.

Discusión

Alrededor del 30 % de estas condiciones tienen una alteración genética subyacente identificable [2; 10-12]. Las mutaciones HNRNPH2 son más comunes en mujeres, existiendo solo tres casos reportados globalmente en hombres [8; 9]. Por medio de SEC fue encontrada una mutación de novo presentada como la variante de nucleótido CGG > TGG en c.616C > T (p.R206W), Cr X, en el gen codificante para HNRNPH2 en el ADN de la paciente con ausencia en el ADN progenitorial, lo cual fue confirmado por secuenciación de Sanger en el ADN de la paciente y materno. La ausencia de mutación debe ser confirmada en el ADN paterno por el método de Sanger con fines de incrementar la certeza acerca de la mutación de novo en el ADN de la paciente.

Existe correlación clínica entre el fenotipo presentado y los hallazgos encontrados por SEC en el genoma de la paciente [2; 8; 9]. La SEC reveló variantes para desórdenes dominantes sin aparente significancia clínica, pero no reveló una variante para desórdenes recesivos; sin embargo, la presencia de una amplia o pequeña deleción o duplicación no debe ser descartada, debido a la necesidad de expansión del espectro fenotípico en pacientes con estas mutaciones o genes posiblemente asociados.

La severidad de las crisis convulsivas relacionadas con el padecimiento es evidente, siendo de difícil control y refractaria a tratamientos anticonvulsivantes. El fármaco que ha demostrado tener un mayor efecto en la disminución del cuadro epiléptico en este tipo de pacientes ha sido Levetiracetam [2]; sin embargo, en un cuadro persistente debe valorarse la posibilidad de agregar un segundo antiepiléptico. Existen reportes de muerte súbita durante eventos convulsivos en este grupo de pacientes [2]. Las comorbilidades psiquiátricas son ampliamente prevalentes [2; 8; 9].

Existen reportes de estimulación del desarrollo de sinapsis favorable en pacientes con degeneración neuronal [13]. Se ha reportado que los pacientes con este padecimiento pueden tener regresión cognitiva, por lo que la terapia estimulante de la formación de sinapsis ha sido considerada una opción [2]. Por lo demás, el tratamiento es únicamente sintomático. En este caso es considerablemente recomendada la consejería genética.

Existen anormalidades estructurales evidenciadas por resonancia magnética en el sistema nervioso central, las cuales afectan principalmente al cerebelo y se relacionan clínicamente con las alteraciones psicomotrices encontradas en este grupo de pacientes [2].

Conclusiones

Existe relación entre las alteraciones psicomotoras, crisis convulsivas de difícil control y regresión del neurodesarrollo con el genotipo mutacional encontrado. Existe compromiso musculoesquelético que debe ser evaluado rutinariamente por ortopedistas y terapeutas correspondientes. Se puede atenuar el efecto de la regresión cognitiva con medidas farmacológicas. La hiporexia puede ser tratada con la colocación de una bolsa de gastrostomía. Por lo demás, el tratamiento de la enfermedad es sintomático y se le debe dar seguimiento periódico.

Se debe dar orientación y consejería a los familiares de la paciente, quienes deben ser motivados a buscar organizaciones para la recolección de información para el uso de investigación sobre el padecimiento (*Yellow Brick Road Project*; HNRNPH-*related disorders*), así como difusión y educación para el personal de salud y la sociedad en general respecto al padecimiento y enfermedades extrañas o inusuales.

Después de una extensa revisión concluimos que este es el primer caso de Síndrome por retraso en el desarrollo cognitivo con fenotipo Bain ligado al cromosoma X relacionado con mutación de novo en HNRNPH2 reportado en México.

Referencias

[1] Ropers, H.-H., & Hamel, B. C. (2005). X-linked Mental Retardation. *Nat. Rev. Gen. 6*(1), 46-57.

[2] Bain, J. M. *et al.* (2016). Variants in HNRNPH2 on the X Chromosome are Associated with a Neurodevelopmental Disorder in Females. *Am. J. Hum. Gen., 99*(3), 728-734.

[3] Han, S. P., Tang, Y. H., & Smith, R. (2010). Functional Diversity of the HNRNPs: Past, Present and Perspectives. *Biochem. J., 430*(3), 379-392.

[4] Cáceres, J. F. *et al.* (1994). Regulation of Alternative Splicing *in vivo* by Overexpression of Antagonistic Splicing Factors. *Science, 265*(5179), 1706-1709.

[5] Manley, J. L. *et al.* (1996). SR Proteins and Splicing Control 1569. *Genes Developm., 10*(13), 1569-1579.

[6] Licatalosi, D. D., & Darnell, R. B. (2006). Splicing Regulation in Neurologic Disease. *Neuron, 52*(1), 93-101.

[7] Agís-Balboa, R. C. *et al.* (2017). Formin 2 Links Neuropsychiatric Phenotypes at Young Age to an Increased Risk for Dementia. *EMBO J., 36*(19), 2815-2828.

[8] Somashekar, P. H. *et al.* (2020). Bain Type of X-linked Syndromic Mental Retardation in a Male with a Pathogenic Variant in HNRNPH2. *Am. J. Med. Gen. Part A, 182*(1), 183-188.

[9] Jepsen, W. M. *et al.* (2019). Two Additional Males with X-linked, Syndromic Mental Retardation Carry de Novo Mutations in HNRNPH2. *Clin. Gen., 96*(2), 183.
[10] Jensen, M., & Girirajan, S. (2017). Mapping a Shared Genetic Basis for Neurodevelopmental Disorders. *Gen. Med., 9*(1), 1-3.
[11] Hu, W. F., Chahrour, M. H., & Walsh, C. A. (2014). The Diverse Genetic Landscape of Neurodevelopmental Disorders. *An. Rev. Gen. Hum. Gen.*, 15, 195-213.
[12] Vorstman, J. A. S. *et al.* (2017). Autism Genetics: Opportunities and Challenges for Clinical Translation. *Nat. Rev. Gen., 18*(6), 362.
[13] Álvarez, X. A. *et al.* (2011). Efficacy and Safety of Cerebrolysin in Moderate to Moderately Severe Alzheimer's Disease: Results of a Randomized, Double-blind, Controlled Trial Investigating Three Dosages of Cerebrolysin. *Europ. J. Neurol., 18*(1), 59-68.

Interacciones moleculares entre carbapenémicos–beta-lactamasa de clase A: descripción físico-química de resistencia bacteriana por medio de química computacional

Autora: Ing. Ana Paola Leyva Aizpuru
Coautores: Dr. Luis Carlos Hinojos Gallardo/D. C. Graciela María de Jesús Ramírez Alonso
Universidad Autónoma de Chihuahua
Programa: Maestría en Formación Biomédica
Correo: p309232@uach.mx
Tutor: D. C. Javier Camarillo Cisneros

Resumen
La resistencia bacteriana es un problema global que ocasiona miles de muertes al año. El uso indiscriminado de fármacos acelera el proceso de adaptación de las bacterias y, como consecuencia, la generación de nuevas cepas resistentes. Si bien, la familia de los carbapenémicos era la opción contra organismos resistentes cada vez se reportan más casos de fracaso ante cepas que han logrado inhibir el efecto de estos antibióticos. Por otro lado, el método experimental para el desarrollo de fármacos es lento y costoso, por lo que el apoyo de herramientas, como la química computacional, resulta de gran utilidad para acelerar el proceso y optimizar recursos.

A partir de la caracterización físico-química del antibiótico y sus interacciones en la bacteria, se genera información para el diseño de nuevos candidatos para el tratamiento. La presente investigación tiene como objetivo aplicar cálculos computacionales en ensambles entre carbapenémicos y la enzima beta-lactamasa de clase A.

Palabras clave: antibióticos; beta-lactamasa; resistencia; química computacional; DFT.

Introducción
Desde 1928, año en el que se descubrió el primer antibiótico, su aplicación clínica ha permitido aumentar la esperanza de vida de la población. Sin embargo, tarde o temprano las bacterias terminan desarrollando resistencia hacia ellos. Al momento, los departamentos de salud continúan reportando la disminución de la eficacia del tratamiento con antibióticos. Este fenómeno es consecuencia de la adaptación y evolución de las cepas bacterianas más aptas para continuar el linaje (Errecalde, 2004). En pleno año 2021, factores como el uso indebido de antibióticos y el costoso y lento desarrollo de nuevos fármacos ponen en peligro la prevención y el control de enfermedades infecciosas, dejando a los hospitales a nivel global sin recursos ni tratamientos funcionales (OMS, 2017). Por lo tanto, la acelerada aparición de cepas bacterianas farmacorresistentes aumenta la demanda global por nuevos y más eficaces fármacos.

Anteriormente se consideraba a los antibióticos carbapenémicos como la última línea contra cepas farmacorresistentes. Sin embargo, las bacterias han desarrollado enzimas capaces de inactivarlos: las beta-lactamasas (Aguado, 2010; García-Cedrón, 2015).

Una alternativa al desarrollo de nuevos fármacos surge dentro de la química computacional. Gracias a estrategias como el acoplamiento molecular y el modelado de fármacos, es posible crear modelos de interacción y caracterizar las propiedades físico-químicas que les permiten a las bacterias inhibir el efecto del antibiótico (Schenone, & Dancik, 2013). A partir de la información generada, se pueden reducir los recursos económicos y el tiempo empleado durante las primeras etapas del desarrollo de fármacos.

En el presente proyecto, se analiza la interacción entre antibióticos carbapenémicos y la enzima beta-lactamasa de clase A. El objetivo del estudio es aportar datos referentes a las interacciones de los carbapenémicos y cómo estas dan lugar a la resistencia.

Desarrollo

Justificación

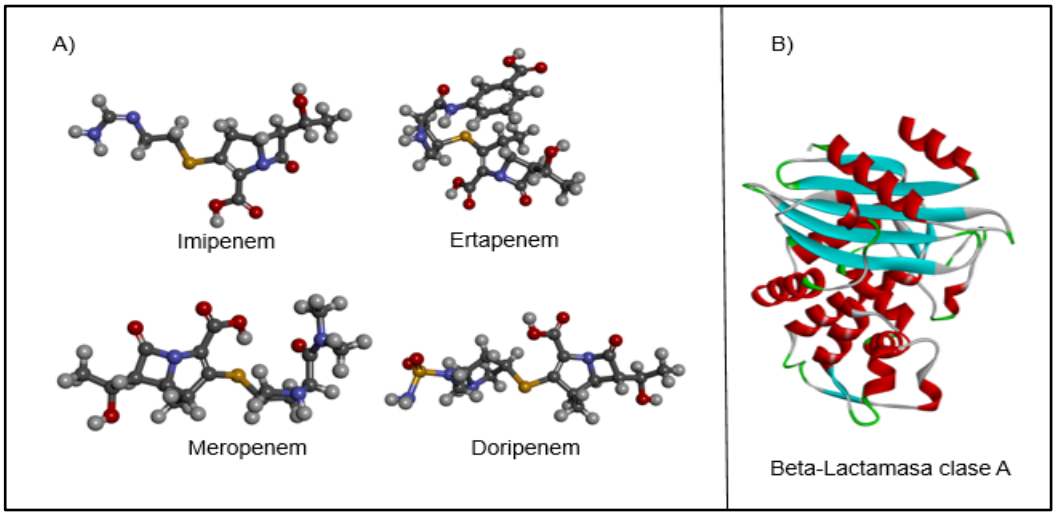
Aunque la aparición de cepas farmacorresistentes es un mecanismo evolutivo (Darwin, 1859), la resistencia bacteriana se ha acelerado, principalmente, debido al uso indiscriminado de fármacos. Los sistemas de salud agotan sus recursos y fallan al tratar infecciones por bacterias resistentes (Alós, 2015). Organizaciones internacionales, como la ONU y la OMS, han declarado este fenómeno como una amenaza para la salud a nivel mundial (Vasso, Barreto, & Pritish, 2015; O'Neill, 2014). Durante 2018, en México se reportó un nivel elevado de resistencia en bacterias gram negativas en once mil novecientos cultivos de aislamientos bacterianos en catorce unidades hospitalarias (Ponce de León, 2018).

Sobre la resistencia y los carbapenémicos

Los mecanismos de resistencia bacteriana se clasifican en tres: modificación del sitio blanco, alteración de la permeabilidad de la membrana e inactivación del antibiótico. Respecto al último caso, las bacterias producen enzimas que destruyen o modifican al antibiótico. Un ejemplo de estas enzimas es la beta-lactamasa, una hidrolasa que rompe el enlace amida en el núcleo betalactámico de antibióticos, como penicilinas, cefalosporinas, monobactámicos y carbapenémicos (Giedraitienė, 2011). Estos últimos son los de mayor actividad, espectro y resistencia a las enzimas beta-lactamasas, incluyendo las de espectro extendido (BLEE). Por ello, son el tratamiento de elección cuando se presenta una bacteria resistente (Bonfiglio, Russo, & Nicoletti, 2002).

En la práctica clínica, se ha observado el desarrollo de resistencias a carbapenémicos en distintas cepas bacterianas. Esta clase de enzimas llevan el nombre de carbapenemasas y son parte de las beta-lactamasas de clase A. Ejemplos de bacterias con este mecanismo son: *K. pneumoniae, S. aureus, P. aeruginosa* y *E. aerogenes* (López-Pueyo, Barcenilla-Gaite, Amaya-Villar, & Garnacho-Montero, 2011). Las estructuras moleculares de cada carbapenémico y de la beta-lactamasa se muestran en la figura 1.

Figura 1. A) Estructura molecular calculada por medio de la DFT de los carbapenémicos: Imipenem, Ertapenem, Meropenem y Doripenem. B) Estructura molecular de la beta-lactamasa de clase A



Fuente: elaboración propia.

Sobre la química computacional

La química computacional emplea modelos atómicos y simulación numérica para estudiar diversos sistemas, a partir de técnicas como el acoplamiento molecular. Como resultado es posible realizar cálculos de la estructura geométrica y propiedades físicas y químicas de los sistemas de interés. La química computacional proporciona información que no es posible obtener experimentalmente, lo que la convierte en una herramienta importante para explicar mediciones obtenidas en un laboratorio (Willems, De Cesco, & Svensson, 2020).

Existen distintos niveles teóricos para llevar a cabo un experimento computacional. Uno de ellos es la mecánica molecular. En este nivel, se describe el movimiento de las moléculas sin tomar en cuenta la contribución de los electrones. A partir de las coordenadas de posición de cada átomo, las cargas eléctricas y las longitudes de separación, es posible calcular características físicas y químicas de cada sistema. Los modelos matemáticos creados con este fin reciben el nombre de Force-Field (Lewars, 2004; Deriabina *et al.*, 2006).

Otro nivel de teoría de mayor complejidad está basado en la química y física cuántica, en donde se toman en cuenta las interacciones de los electrones dentro de la molécula. La aplicación computacional de la química cuántica es la Teoría de la Densidad Funcional (DFT). Por medio de la DFT, se pueden calcular las propiedades de una molécula, a partir de las coordenadas atómicas que la forman.

Los métodos computacionales tienen el potencial de reducir el tiempo y costo en etapas iniciales de caracterización molecular de antibióticos en comparación con el método experimental. Esta alternativa puede complementar el método tradicional para el desarrollo de fármacos, ya que puede tomar hasta quince años y una inversión de millones de dólares sin garantía de éxito (Magos, & Lorenzana, 2009).

Por lo expuesto anteriormente, las razones principales para hacer esta investigación son:

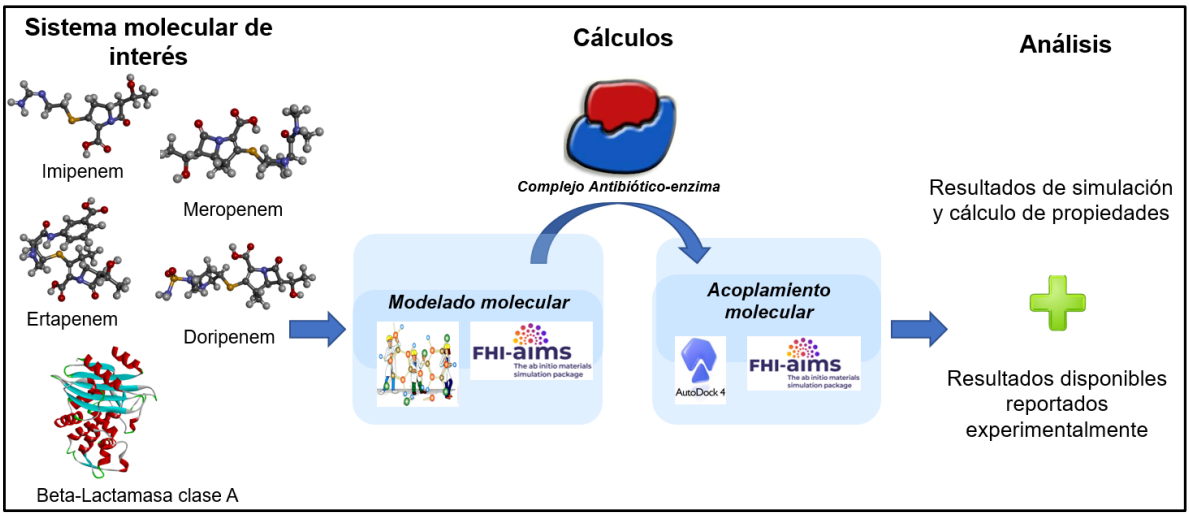
- Aportar información para el diseño inteligente de antibióticos
- Aumentar el conocimiento científico al desarrollar una metodología que permita obtener medibles físico-químicos de las interacciones entre el antibiótico-enzima
- Obtener físico-químicos medibles de manera confiable por medio del uso de técnicas de química computacional con un posible aumento de la relación costo-efectividad y más rápido que la metodología experimental

Metodología

El paso inicial consistió en crear modelos 3D de cada carbapenémico: Imipenem, Ertapenem, Meropenem y Doripenem, y de la beta-lactamasa de clase A perteneciente a *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemasa 2 (KPC-2). Posteriormente, se calcularon las estructuras precisas, refiriéndonos a distancias y ángulos de cada enlace. A partir de las geometrías calculadas y validadas, se formaron los ensambles antibiótico-enzima para llevar a cabo los cálculos de acoplamiento molecular.

Los resultados de cada ensamble antibiótico-enzima son modelos a partir de los cuales se obtienen parámetros físicos y químicos que los caracterizan. Los parámetros que se calcularon por este método computacional serán comparados contra los resultados reportados experimentalmente para evaluar la exactitud y precisión de los cálculos. Aquellos modelos que tengan la mejor aproximación serán seleccionados para el cálculo de propiedades e interacciones que describan el acoplamiento entre el antibiótico y la enzima. La figura 2 muestra el diagrama de pasos para la metodología.

Figura 2. Etapas del diseño de investigación



Fuente: elaboración propia.

Resultados

La tabla 1 muestra en la primera columna el ensamble entre la enzima KPC-2 y cada uno de los antibióticos carbapenémicos. Las energías del enlace intermolecular KPC2-carbapenémico aparecen en la segunda columna. Esta es la cantidad de energía requerida para separar el ensamble KPC-2–carbapenémico. La tercera columna enlista de tres a cinco lugares más activos entre cada ensamble KPC-2–antibiótico. Las últimas dos columnas se refieren a la distancia y energía de cada uno de los enlaces intramoleculares; debido a que la molécula antibiótica interactúa con la beta-lactamasa en más de una área al mismo tiempo.

Tabla 1. Energías obtenidas y enlaces formados en cada complejo antibiótico-enzima

** Los residuos en negrita hacen referencia a los aminoácidos identificados como sitio blanco.*

Ensamble enzima-antibiótico	Energía de enlace del ensamble	Enlaces	Distancia del enlace (Å)	Energía de cada enlace dentro del ensamble (kcal/mol)
KPC-2–Imipenem	-6.73 kcal/mol	**SER70**-(COOH) **SER130**-(COOH) **ASN132**-(R-NH-R) **THR235**-(CHNO) **THR237**-(COOH)	2.057 1.762 1.89 2.139 1.973	0.187 3.609 -7.209 1.926 -0.007
KPC-2–Doripenem	-8.39 kcal/mol	**SER70**-(COOH) **SER130**-(COOH) **ASN132**-(R-NH-R) **THR235**-(CHNO) **THR237**-(COOH)	2.046 1.998 2.143 2.034 1.957	-0.204 -4.538 -1.014 3.047 -0.05
KPC-2–Ertapenem	-4.92 kcal/mol	**SER70**-(COOH) **SER130**-(COOH) **ASN132**-(COOH)	2.066 1.918 2.005	-2.054 -0.292 -4.586
KPC-2–Meropenem	-6.61 kcal/mol	**SER70**-(COOH) **ASN132**-(COOH) **THR237**-(COOH)	2.021 2.145 2.083	-0.763 -4.348 -0.015

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Discusión

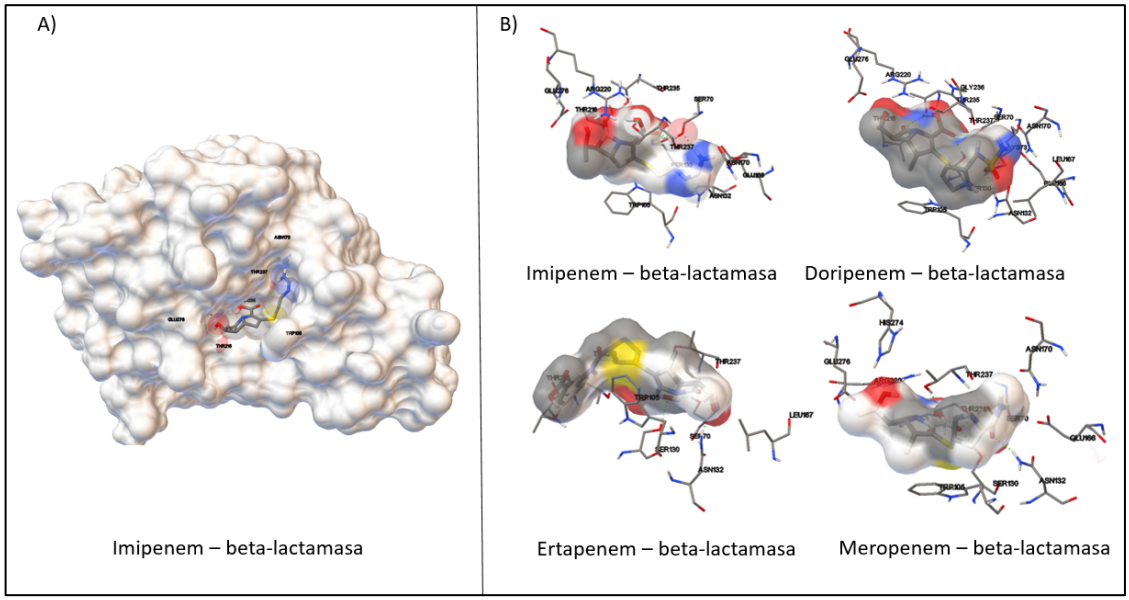
Según lo reportado por estudios de cristalografía, modelado molecular y ensayo experimental, los sitios activos de la enzima KPC-2 incluyen los residuos: SER70, SER130, ASN132, THR235, THR237 y CYS238. Cada uno de estos sitios de interacción desempeñan un papel clave en el mecanismo de acción enzimático. Por ejemplo, el residuo SER70 es clave para el ataque nucleofílico al carbono carbonilo del sustrato, lo que lleva a la ruptura del enlace con el nitrógeno en el anillo betalactámico. El residuo ASN132 forma un puente de hidrógeno con el grupo hidroxilo del carbono 6 en los carbapenémicos, lo cual conlleva a una posición óptima prehidrólisis. Por otra parte, los residuos THR235, THR237 y SER130 parecen tener un papel crítico para orientar correctamente al sustrato, lo cual mejora la eficiencia catalítica de la hidrólisis (Ke *et al.*, 2007; Babic, Hujer, & Bonomo, 2006; Malathi, Anbarasu, & Ramaiah, 2019).

Los resultados obtenidos en cada ensamble presentan enlaces con, al menos, tres de los seis sitios activos reportados. Gracias al nivel de precisión con el que se crearon los ensambles, se puede comenzar con el siguiente estudio: sugerir nuevos grupos funcionales en las moléculas antibióticas de la familia de carbapenémicos. La intención de esta estrategia es crear nuevas generaciones de antibióticos en las que se eviten las interacciones entre los carbapenémicos y la enzima KPC-2, o bien, se disminuya la afinidad reportada actualmente.

El proceso consistiría en añadir nuevos grupos funcionales y calcular sus interacciones con la beta-lactamasa. Dado que la beta-lactamasa es producida por las bacterias para desactivar al antibiótico, el resultado deseado para las nuevas moléculas es que las fuerzas de interacción calculadas disminuyan en intensidad o, idealmente, desaparezcan. Así, se buscarían menos de cinco interacciones en los conjuntos KPC-2–Imipenem y KPC-2–Doripenem. Del mismo modo, en los ensambles que toman como punto de partida las moléculas de Ertapenem y Meropenem, se buscaría reducir a menos de tres interacciones.

La figura 3 muestra los ensambles generados a partir de las interacciones más estables calculadas por acoplamiento molecular en el presente trabajo.

Figura 3. A) Ensamble calculado de la enzima KPC-2 y el carbapenémico Imipenem. B) Sitios activos de los ensambles calculados de la beta-lactamasa con cada carbapenémico



Fuente: elaboración propia.

Aportaciones

A partir de la caracterización computacional físico-química de las interacciones beta-lactamasa–carbapenémicos, se han encontrado los sitios de acción reportados por trabajos previos. Con ello, podemos estudiar mecanismos de acción a nivel molecular. Al comprender dichas interacciones en cada una de las moléculas antibióticas de los carbapenémicos con el sitio blanco de la enzima, es posible apoyar el diseño inteligente de antibióticos eficaces contra cepas bacterianas farmacorresistentes. Se espera probar computacionalmente una gran cantidad de nuevas moléculas, tomando como punto de partida tanto la metodología creada como las cuatro moléculas existentes de carbapenémicos.

Referencias

Aguado, J. M. (2010). Papel de los nuevos carbapenémicos en la infección intraabdominal nosocomial. *Enferm. Infec. Microbiol. Clín., 28*(2), 65-68.

Alós, J. I. (2015). Resistencia bacteriana a los antibióticos: una crisis global. *Enferm. Infec. Microbiol. Clín., 33*(10).

Babic, M., Hujer, A., & Bonomo, R. (2006). What's New in Antibiotic Resistance? Focus On Beta-lactamases. *Drug Resist. Updat.*, 142-156.

Bonfiglio, G., Russo, G., & Nicoletti, G. (2002). Recent Developments in Carbapenems. *Exp. Opin. Inv. Drugs, 11*(4), 529-544.

Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species by Means of Natural Selection or the Preservation of Favoured Races in the Strugle for Life* (1st Ed.). D, Appleton and Company.

Deriabina, A., Ledesma, J. O., González, E., Herrera, J. N., & Poltev, V. (2006). Desarrollo de un campo de fuerzas de mecánica molecular para la interacción de Na+ con agua. *Rev. Mex. Fís., 52*(1), 74-79.

Errecalde, J. O. (2004). *Uso de antimicrobianos en animales de consumo*. World Health Organization.

García-Cedrón, D. (2015). Bacterias productoras de β-lactamasas clásicas y de espectro ampliado aisladas de pacientes con infecciones del tracto urinario del Hospital IV "Víctor Lazarte Echegaray" EsSalud–Trujillo, 2009. *Sciendo, 18*(1), 12-22.

Giedraitienė, A. E. (2011). Antibiotic Resistance Mechanisms of Clinically Important Bacteria. *Medicina (Kaunas), 47*(3), 137-146.

Hohenberg, P., & Kohn, W. (1964). Inhomogeneous Electron Gas. *Phys. Rev. Let., 136*(3b), 864.

Ke, W., Bethel, C., Thomson, J., & Akker, F. (2007). Crystal Structure of KPC-2 Insights into Carbapenemase Activity in Class A Lactamases. *Biochemistry*, 5732-5740.

Latania, K. L. (2012). Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae: An Emerging Problem in Children. *Clin. Infect. Dis., 55*(6), 852-859.

Lazcano-Ponce, E., Salazar-Martínez, E., & Hernández-Ávila, M. (2001). Estudios epidemiológicos de casos y controles. Fundamento teórico, variantes y aplicaciones. *Sal. Púb. Méx., 43*(2), 135-150.

Lewars, E. G. (2004). Molecular Mechanics. En: E. G. Lewars, *Computational Chemistry* (pp. 43-79). Springer.

López-Pueyo, M., Barcenilla-Gaite, F., Amaya-Villar, R., & Garnacho-Montero, J. (2011). Multirresistencia antibiótica en unidades de críticos. *Med. Int., 1*(35), 41-53.

Magos, G., & Lorenzana, M. (2009). Las fases en el desarrollo de nuevos medicamentos. *Rev. Fac. Med. UNAM, 52*(6).

Malathi, K., Anbarasu, A., & Ramaiah, S. (2019). Identification of Potential Inhibitors for *Klebsiella pneumoniae* Carbapenemase-3: A Molecular Docking and Dynamics Study. *J. Biomol. Struct. Dynam.*, 1-15.

Matagne, A., Lamotte, J., & Frere, J.-M. (1998). Catalytic Properties of Class A β-lactamases: Efficiency and Diversity. *Biochem. J.*, 581-598.

O'Neill, J. (2014). Tackling a Crisis for the Health and Wealth of Nations. *Rev. Antimicrob. Res., 1*(1), 1-20.

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2017). Lista de las bacterias para las que se necesitan urgentemente nuevos antibióticos. https://www.who.int/es/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed

Ponce de León, E. (2018). Estado actual de la resistencia antimicrobiana en México. Reporte de hospitales de la Red Pucra. Universidad Nacional Autónoma de México. Programa Universitario de Investigación en Salud.

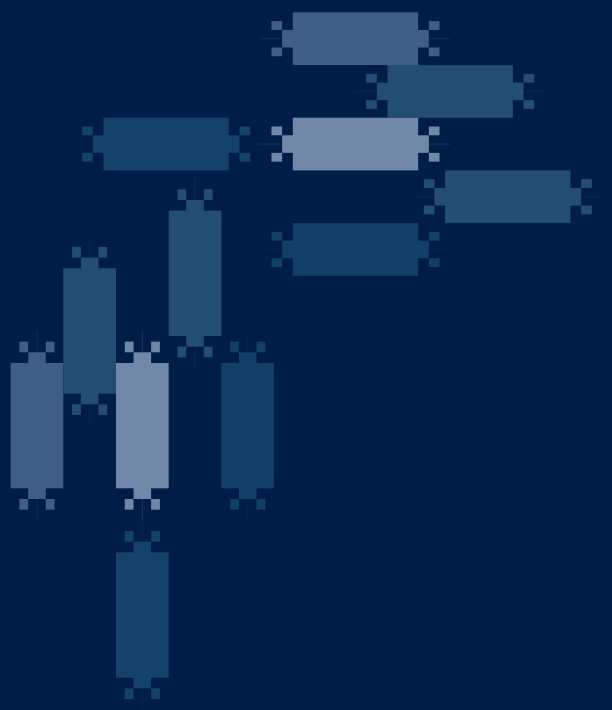
Schenone, M., & Dancik, L. (2013). Target Identification and Mechanism of Action in Chemical Biology and Drug Discovery. *Nat. Chem. Biol., 9*(1), 232-2470.

Vasoo, S., Barreto, J. N., & Pritish, K. T. (2015). Emerging Issues in Gram-negative Bacterial Resistance: An Update for the Practicing Clinician. *May. Clin. Proceed., 90*(3), 395-403.

Willems, H., De Cesco, S., & Svensson, F. (2020). Computational Chemistry on a Budget: Supporting Drug Discovery with Limited Resources. *J. Med. Chem., 63*(18), 10158-10169.

ÁREA IV.

HUMANIDADES Y CIENCIAS DE LA CONDUCTA



Distorsiones cognitivas y estilos de afrontamiento como factores predictores de ideación suicida en adolescentes de Ciudad Juárez

Autora: Verónica Guadalupe López Gómez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Psicología
Correo: al156041@alumnos.uacj.mx
Tutora: Dra. Nancy Amador

Resumen
El objetivo de esta investigación es conocer si las distorsiones cognitivas y los estilos de afrontamiento son predictores de la ideación suicida en adolescentes de 15 a 21 años de edad. Se utilizó el Inventario de Ideación Suicida Positiva y Negativa, la Escala de Afrontamiento para Adolescentes-Forma Abreviada y el Inventario de Pensamientos Automáticos. Con una muestra de 260 participantes, 191 mujeres, 68 hombres y una no-binaria, los resultados mostraron que el 38.5 % presentaba ideación suicida. La regresión logística arrojó que los factores de riesgo para la ideación suicida son: presencia de las distorsiones de los debería y de visión catastrófica; mientras que los factores protectores son: presencia de la distorsión de falacia de recompensa divina y utilización del estilo dirigido a los demás. Por lo tanto, la detección e intervención de distorsiones cognitivas, así como el desarrollo de estilos de afrontamiento efectivos, pueden contribuir a disminuir la probabilidad de presentar ideación suicida.

Palabras clave: ideación; distorsiones; afrontamiento; suicidio; adolescentes.

Introducción

En los últimos años, el suicidio se ha posicionado como un grave problema de salud pública mundial, ubicándose entre las primeras causas de defunción, especialmente para la población adolescente (OMS, 2019a). Respecto a la población adolescente mexicana, la tasa de mortalidad por suicidio es de 6.9 por cada 100 000 habitantes para el grupo de 15 a 19 años, y de 9.5 para el de 20 a 24 años, siendo este último el grupo etario con la tasa de mortalidad más alta a nivel nacional (Inegi, 2018).

Asimismo, de acuerdo con distintas investigaciones la prevalencia de ideación suicida en adolescentes mexicanos oscila en un rango que va de 10.01 % hasta 47 % (Franco *et al.*, 2020). Según Muñoz *et al.* (2011) es común que los adolescentes reporten cierto grado de ideación suicida (IS), es decir, pensamientos intrusivos y repetitivos sobre la muerte

autoinfligida (Sánchez, Villarreal, & Musitu, 2013); no obstante, el hecho de que sea común no atenúa la situación, sino que, por el contrario, aumenta el riesgo suicida.

Por su parte, Loaiza (2018) refiere que las altas tasas de mortalidad por suicidio en los adolescentes podrían estar asociadas con la falta de herramientas que estos poseen para afrontar los problemas. Además, es importante contemplar que esta etapa se caracteriza por el uso del pensamiento egocéntrico (Papalia, Feldman, & Martorell, 2012), que, junto con otros cambios cognitivos propios de la adolescencia, podrían contribuir a la formación de distintas distorsiones cognitivas.

Estilos de afrontamiento

Cuando un individuo se enfrenta a situaciones que considera amenazantes emplea distintas respuestas emocionales, cognitivas y conductuales, con el objetivo de controlar, neutralizar o solucionar los problemas y efectos adyacentes a dichos eventos (Cárdenas, 2016; Loaiza, 2018). Estas respuestas se engloban dentro de distintos estilos de afrontamiento (EA), los cuales son las predisposiciones personales que se mantienen relativamente estables para enfrentar distintas situaciones estresantes (Solís, & Vidal, 2006).

De acuerdo con Erika Frydenberg (citada en: Cárdenas, 2016) existen tres EA: el *Estilo de resolver el problema*, que engloba las estrategias de concentrarse en resolver el problema, esforzarse y tener éxito; fijarse en lo positivo; buscar diversiones relajantes; distracción física. El *Estilo de referencia a otros*, que incluye las estrategias de buscar apoyo social; invertir en amigos íntimos; buscar pertenencia, acción social; buscar apoyo espiritual; buscar ayuda profesional. Y el *Estilo no productivo*, que está compuesto por las estrategias de preocuparse; hacerse ilusiones; no-afrontamiento; reducción de la tensión; ignorar el problema; autoinculparse; reservarlo para sí.

Distorsiones cognitivas

Las distorsiones cognitivas (DC) se definen como las aseveraciones del pensamiento que se asumen como ciertas y no corresponden con la realidad objetiva, que incluso, a pesar de la existencia de evidencia contraria, se mantienen como verdaderas (Beck *et al.*, 2005; Villardón, 2009). Así, Mckay, Davis y Fanning (1988; citados en: Álvarez, Ayala, & Bascuñán, 2019) proponen quince distorsiones, a partir del listado original de seis distorsiones de Beck, las cuales son: filtraje; pensamiento polarizado; sobregeneralización; interpretación del pensamiento; visión catastrófica; personalización; falacia de control; falacia de justicia; culpabilidad; los debería; razonamiento emocional; falacia de cambio; etiquetas globales; falacia de razón; y falacia de recompensa divina.

Justificación

Se decidió centrar la investigación en la IS, debido a que las tasas de suicidio, tanto a nivel global como local, son bastante altas, estimándose que cada cuarenta segundos una persona culmina con su propia vida (OMS, 2019b). A pesar de las distintas intervenciones y medidas de prevención implementadas, las tasas de mortalidad por suicidio siguen siendo alarmantes, lo cual refleja que aún nos queda mucho por investigar y conocer para poder elaborar programas de prevención cada vez más eficaces. Asimismo, buscando generar conocimientos para la prevención del suicidio, se optó por investigar la IS, dado que esta se considera como el primer paso hacia el suicidio consumado y la actuación temprana desde sus primeras manifestaciones es fundamental (Gonçalves *et al.*, 2014).

Respecto a las otras variables, por el lado de las DC estas influyen en la forma en que uno percibe su realidad, siendo así que un pequeño problema se puede maximizar y catastrofizar hasta el punto de no encontrar salida; mientras que en lo que concierne a los EA, cuando no se posee un repertorio de estrategias efectivas ante los problemas, estos solo se agravan y aplazan, de manera que las estrategias improductivas, como la evasión o el autoinculparse, solo empeoran la situación, de tal manera que el suicidio se considera como una medida viable para la solución de los problemas, siendo acorde con los patrones de afrontamiento. Cabe destacar que estas variables ya se han estudiado por separado, demostrando que existen correlaciones significativas entre el suicidio y ambas variables; sin embargo, la investigación de estas como factores predictores de IS es escasa, especialmente en la población adolescente.

Metodología

Diseño experimental

La presente investigación es de carácter cuantitativo y posee un diseño no-experimental de tipo transversal correlacional-causal.

Participantes

Por medio de un muestreo no-probabilístico, se obtuvo la participación de 260 personas, 191 del género femenino, 68 del género masculino y una persona reportó identificarse como no-binaria. El rango de edad fue de 15 a 21 años, con una edad media de 19.27 y una desviación estándar (σ) de 1.668.

Instrumentos

a) *Inventario de Ideación Suicida Positiva y Negativa*. Para determinar la presencia de IS, se utilizó el Inventario de Ideación Suicida Positiva y Negativa (PANSI, por sus siglas en inglés) elaborado por Osman *et al.* (1998), el cual posee dos subescalas: una de Ideación Suicida Positiva (ISP) y otra de Ideación Suicida Negativa (ISN); no obstante, para este estudio únicamente se emplearon los resultados de la ISN. En la población mexicana, el PANSI posee una confiabilidad interna de $\alpha = 0.79$ para la ISP y de $\alpha = 0.92$ para la ISN; además, ambos factores explican el 63.03 % de la varianza. Asimismo, el instrumento presenta una validez de constructo, convergente y divergente (Robles *et al.*, 2009).

b) *Escala de Afrontamiento para Adolescentes-Forma Abreviada*. Para identificar los EA, se utilizó la Escala de Afrontamiento para Adolescentes-Forma Abreviada (ACS-Forma Abreviada), la cual es una adaptación española de Lara (2015) de la versión corta de la escala propuesta por Frydenberg y Lewis (1996). La ACS-Forma Abreviada consta de dieciocho ítems redactados en una escala tipo Likert de cinco puntos, que se distribuyen en los tres EA propuestos por Frydenberg y Lewis.

c) *Inventario de Pensamientos Automáticos*. Para evaluar las DC, se empleó el Inventario de Pensamientos Automáticos (IPA), elaborado por Ruiz y Luján en 1991 en una muestra mexicana (Riofrío, & Villegas, 2016). El IPA cuenta con 45 ítems que corresponden a las 15 DC previamente mencionadas. De acuerdo con Riofrío y Villegas (2016), en la validez ítem el IPA ha alcanzado resultados entre 0.66 y 0.82, y una confiabilidad interna de $\alpha = 0.94$.

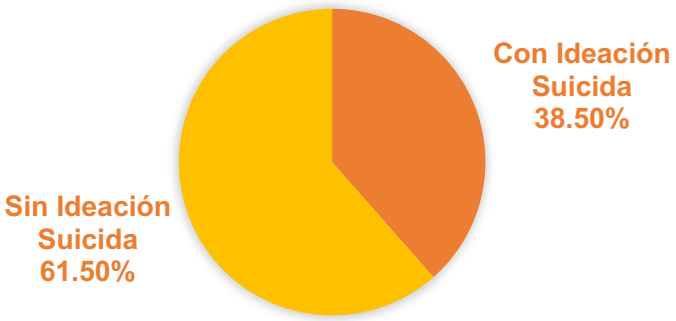
d) *Análisis estadístico*. Para la identificación de factores predictores de la IS, se utilizó un modelo de regresión logística binaria. El Stadistical Package for the Social Sciencies (IBM SPSS) versión 26 para Windows fue empleado para todos los análisis.

Resultados

Ideación suicida

De acuerdo con los resultados del PANSI, 61.5 % de la muestra no presentó IS; mientras que el 38.5 % restante, sí la mostró (gráfico 1).

Gráfico 1. Distribución de la presencia de ideación suicida en la muestra



Fuente: elaboración propia.

Estilos de afrontamiento

Para la muestra en general, el estilo más utilizado fue el dirigido a la solución de problemas con una frecuencia de 82 y el menos empleado fue el dirigido a la relación con los demás con 115. Específicamente, el estilo de afrontamiento improductivo fue el más utilizado por el grupo con IS con una frecuencia de 31 y el menos empleado fue el dirigido a la relación con los demás con 58.

Mientras que para el grupo sin ideación, el estilo más utilizado fue el dirigido a la solución de problemas con una frecuencia de 59 y el menos empleado fue el dirigido a la relación con los demás con 57. La mayor diferencia entre ambos grupos, se puede observar en el estilo de afrontamiento improductivo, en donde el mayor porcentaje de quienes lo utilizan corresponde al grupo con IS (tabla 1).

Tabla 1. Tabla cruzada – Ideación suicida y estilos de afrontamiento

	Sin IS		Con IS		
	f	%	*f*	%	Total
Dirigido a la solución de problemas					
Poco utilizado	12	52.2	11	47.8	23
Medianamente utilizado	89	57.4	66	42.6	155
Altamente utilizado	59	72	23	28	82
Dirigido a la relación con los demás					
Poco utilizado	57	49.6	58	50.4	115
Medianamente utilizado	90	70.9	37	29.1	127
Altamente utilizado	13	72.2	5	27.8	18
Afrontamiento improductivo					
Poco utilizado	33	94.3	2	5.7	35
Medianamente utilizado	118	63.8	67	36.2	185
Altamente utilizado	9	22.5	31	77.5	40

Fuente: elaboración propia.

Distorsiones cognitivas

A grandes rasgos, los porcentajes más altos de presencia de distorsión se ubicaron en el grupo con IS, exceptuando la de falacia de recompensa divina donde el mayor porcentaje se concentraba en el grupo sin IS con 62.3 %. Conforme a lo anterior, la distorsión de falacia divina fue la más presentada en ambos grupos y es la única que fue altamente presentada por el grupo sin IS con una frecuencia de 63. Por otra parte, las distorsiones mayormente presentadas por los participantes con IS fueron: falacia de recompensa divina con una frecuencia de 38; los debería con 35; visión catastrófica con 30; etiquetas globales con 24; y filtraje con 23 (tabla 2).

Tabla 2. Tabla cruzada – Ideación suicida y distorsiones cognitivas

	Sin IS		Con IS		
	f	%	*f*	%	Total
Filtraje	4	14.8	23	85.2	27
Pensamiento polarizado	2	9.5	19	90.5	21
Sobregeneralización	3	12	22	88	25
Interpretación del pensamiento	1	7.1	13	92.9	14
Visión catastrófica	4	11.8	30	88.2	34
Personalización	2	15.4	11	84.6	13
Falacia de control	1	12.5	7	87.5	8
Falacia de justicia	8	32	17	68	25
Razonamiento emocional	0	0	11	100	11
Falacia de cambio	1	9	10	90.1	11
Etiquetas globales	6	20	24	80	30
Culpabilidad	0	0	10	100	10
Los debería	11	24	35	76	46
Falacia de razón	6	42.9	8	57.1	14
Falacia de recompensa divina	63	62.3	38	37.7	101

Fuente: elaboración propia.

Factores predictores

Con un modelo de regresión logística estadísticamente significativo [$X^2(31) = 146.36$, $p < 0.001$], que predice la IS desde un 43 %, según el R^2 de Cox y Snell, hasta un 58.5 %, según el R^2 de Nagelkerke, y con una probabilidad de acierto de 81.2 %, se encontró que los factores de riesgo para la IS son: presentar mayores niveles de la DC de los debería [OR(1) = 2.020, $p < 0.05$] y mayor presencia de visión catastrófica [OR(1) = 5.313, $p < 0.001$]; mientras que los factores protectores son: mayor distorsión de falacia de recompensa divina [OR(1) = 2.159, $p < 0.05$] y mayor utilización del estilo dirigido a la relación con los demás [OR(1) = 2.457, $p < 0.01$] (tabla 3).

Tabla 3. Regresión logística para predecir el riesgo de presentar ideación suicida

	B	P	Odds ratio	Odds inversa
DC Visión catastrófica	1.670	0.000	5.313	-
DC Los debería	0.703	0.045	2.020	-
DC Falacia de recompensa divina	-0.770	0.025	0.732	2.159
EA Dirigido a la relación con los demás	-0.900	0.006	0.407	2.457

Nota: únicamente se colocaron las variables que resultaron significativas ($p < .05$).

Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

El primer hallazgo de esta investigación fue la alta prevalencia de IS en la muestra estando presente en 38.5 % de los participantes, coincidiendo con estudios como el de Pérez-Amezcua *et al.* (2010) que refiere que prácticamente la mitad de los adolescentes mexicanos presentan, al menos, un síntoma de IS. Sin embargo, es importante recordar que esta investigación se llevó a cabo durante las primeras etapas de la pandemia de la COVID-19, por lo cual los datos aquí expuestos, principalmente las cifras de IS, pueden estar asociados a dicha situación caracterizada por el aislamiento, estrés, pérdidas, entre otras cuestiones.

Respecto a los EA, se encontró que los adolescentes de la muestra utilizan mayormente estrategias del estilo dirigido a la solución de problemas, confirmando lo expuesto por Coppari *et al.* (2019) para los adolescentes mexicanos. No obstante, analizando los grupos por separado, el estilo de afrontamiento improductivo fue el más empleado por el grupo con IS, concordando con Clemente y González, quienes afirmaban que los individuos suicidas carecen de estrategias de afrontamiento efectivas (citados en: Loaiza, 2018). Asimismo, Shneidman (citado en: Villardón, 2009) refiere que el acto suicida coincide con los patrones de afrontamiento del sujeto; así, el suicidio se plantea como la única estrategia viable para la solución de sus problemas (Linehan; citada en: Ortega, 2018).

Añadido a esto, el EA menos utilizado fue el dirigido a la relación con los demás. Por su parte, Neimeyer resaltaba el aislamiento interpersonal en los individuos suicidas (citado en: Villardón, 2009). Sin embargo, este resultado es interesante, debido a que la mayor parte de la muestra es femenina y según investigaciones previas las mujeres suelen afrontar sus problemas de una forma comunicativa, buscando el apoyo de otros individuos (Ibrahim *et al.*, 2017).

Acorde con lo anterior, el único EA que resultó factor predictor fue el dirigido a la relación con los demás, de manera que los adolescentes que utilizan en mayor medida dichas estrategias tienen el doble de probabilidad de no padecer IS. Esto se relaciona con lo expresado por la Federación de Asociaciones de Familiares y Personas con Enfermedad Mental (Feafes) (2006), que planteaba el poseer buenas habilidades sociales y comunicativas como factor protector contra la IS. De forma similar, Ibrahim *et al.* (2017)

exponen que la falta de expresión y comunicación de los problemas puede ser un factor determinante para la IS.

En relación con las DC, los resultados mostraron que la falacia de recompensa divina es la más presentada por los adolescentes de la muestra; además, fue la única distorsión altamente mostrada en el grupo sin IS, e incluso obtuvo frecuencias superiores a las del grupo con IS. Es por ello que la falacia de recompensa divina resultó factor protector de la IS en adolescentes. Este dato contradice lo encontrado por Baldovino, Blanco y Legares (2015), quienes hallaron una relación positiva entre esta y la IS, concluyendo que las personas se comportan correctamente esperando obtener una recompensa; sin embargo, estas nunca llegan o difieren de lo esperado, provocando frustración y decepción en el individuo, relacionándose así con la IS. No obstante, nuestros hallazgos muestran lo contrario. Posiblemente esto se deba a que la muestra empleada por ellos tenía un rango de edad de 16 a 34 años, de manera que al ser este estudio únicamente enfocado en adolescentes la esperanza de ser recompensados aún está planteada muy a futuro y las posibles frustraciones o decepciones aún no han sido muy grandes.

Las otras DC altamente presentadas y que resultaron factores de riesgo para la IS fueron: los debería y visión catastrófica. En lo que se refiere a la visión catastrófica, esta podría influir en los pensamientos de los adolescentes con IS anticipando y exagerando los posibles errores consecuentes a una acción.

Y respecto a los debería, estos podrían relacionarse con la IS, debido a rigidez de las normas con las que se maneja el sujeto, las cuales eventualmente, al ser quebrantadas por él mismo u otras personas, le provocan sentimientos de enfado y culpabilidad. Ambas distorsiones coinciden con lo planteado por Neimeyer, quien refiere que los individuos suicidas se caracterizan por tener una visión negativa de sí mismos y una alta anticipación hacia el fracaso. Por otra parte, Shneidman hace énfasis en el estado emocional del sujeto, en el cual los sentimientos negativos, como la tristeza y la culpa, son los principalmente manifestados (citados en: Villardón, 2009).

Como conclusión, los resultados de esta investigación demuestran la importancia de las DC y los EA en la IS, siendo la relación de estas variables de tipo causal, por lo que la detección e intervención de ciertas DC, así como el desarrollo de EA efectivos, pueden contribuir a disminuir la probabilidad de presentar IS. Por ende, se invita a la comunidad académica a desarrollar programas de prevención e intervención de IS con enfoque cognitivo-conductual, en el que el principal eje sean las DC, enseñándole al adolescente a reconocerlas y a desarrollar pensamientos alternativos que le sean más útiles; y que, además, incorporen el desarrollo de estrategias de afrontamiento eficaces y que enseñen al adolescente cómo hacerle frente a distintas situaciones de su vida cotidiana. En línea con lo anterior, se destaca la importancia del aspecto relacional, especialmente como estrategia de afrontamiento, por lo cual la creación y fortalecimiento de redes de apoyo es de vital importancia como medida de protección para el adolescente.

Referencias

Álvarez, L., Ayala, N., & Bascuñán, R. (2019). Las distorsiones cognitivas y el riesgo de suicidio en una muestra de adolescentes chilenos y colombianos: un estudio descriptivo-correlacional. *Psicogente, 22*(41), 1-22. https://doi.org/10.17081/psico.22.41.3308

Baldovino, K., Blanco, W., & Lagares, L. (2015). Distorsiones cognitivas en estudiantes de psicología con ideación suicida de una universidad privada en la ciudad de Cartagena [Tesis de licenciatura]. http://45.5.172.45/bitstream/10819/6084/1/Distorsiones%20cognitivas%20en%20estudiantes_Karen%20Baldovino%20B_2017.pdf

Beck, A., Rush, A., Shaw, B., & Emery, G. (2005). *Terapia cognitiva de la depresión*. Desclée De Brouwer.

Cárdenas, R. (2016). Ideación suicida, afrontamiento y satisfacción familiar en adolescentes de instituciones educativas [Tesis doctoral]. Universidad de San Martín de Porres. http://www.repositorioacademico.usmp.edu.pe/bitstream/handle/usmp/2444/CARDENAS_VR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Coppari, N., Barcelata, B., Bagnoli, L., Codas, G., López, H., & Martínez, Ú. (2019). Influencia del sexo, edad y cultura en las estrategias de afrontamiento de adolescentes paraguayos y mexicanos. *Univ. Psychol., 18*(1), 1-13. https://doi.org/10.11144/Javeriana.upsy18-1.isec

Federación de Asociaciones de Familiares y Personas con Enfermedad Mental (Feafes) (2006). Afrontando la realidad del suicidio: orientaciones para su prevención. https://www.mscbs.gob.es/organizacion /sns/planCalidadSNS/pdf/excelencia/salud_mental/opsc_est14.pdf.pdf

Franco, B., Mendieta, Z., Juárez, N., & Castrejón, R. (2020). Ideación suicida y su asociación con el apoyo social percibido en adolescentes. *At. Fam., 27*(1), 11-16. https://doi.org/10.22201/ facmed.14058871p.2020.1.72278

Frydenberg, E., & Lewis, R. (1996). A Replication Study of the Structure of the Adolescent Coping Scale: Multiple Forms and Applications of a Self-report Inventory in a Counselling and Research Context. *Europ. J. Psychol., 12*(3), 224-235. https://doi.org/10.1027/1015-5759.12.3.224

Gonçalves, A., Sequeira, C., Duarte, J., & Freitas, P. (2014). Suicide Ideation in Higher Education Students: Influence of Social Support. *At. Prim., 46*(5), 88-91. https://doi.org/10.1016/S0212-6567(14)70072-1

Ibrahim, N., Amit, N., Che Din, N., & Chien Ong, H. (2017). Gender Differences and Psychological Factors Associated with Suicidal Ideation among Youth in Malaysia. *Psychol. Res. Behav. Manag., 10*, 129-135. https://doi.org/10.2147/PRBM.S125176

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2018, 7 de septiembre). Estadísticas a propósito del Día Mundial para la Prevención del Suicidio (datos nacionales) (Comunicado de prensa). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2018/suicidios2018_Nal.pdf.

Lara, M. (2015). Personalidad, afecto y afrontamiento en las conductas saludables y de consumo de alcohol y tabaco en adolescentes [Tesis doctoral]. Universidad Nacional de Educación a Distancia. http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:PsicologiaMdlara/LARA_BELTRAN_Mdol

Loaiza, L. (2018). Estrategias de afrontamiento e ideación suicida en adolescentes entre 14 a 16 años del colegio de bachillerato "Beatriz Cueva de Ayora" del Cantón Loja [Tesis de licenciatura]. http://192.188.49.17/jspui/bitstream/123456789/21434/1/Tesis%20CD.pdf

Muñoz, C., Pagán, A., Colón, L., Varas, J., & Saad, E. (2011). En: E. Saad, E. Belfort, E. Camarena, R. Chamorro, & J. Martínez (Eds.), *Salud mental infanto-juvenil: prioridad de la*

humanidad (pp. 631-677). http://www.codajic.org/sites/www.codajic.org/files/Salud%20Mental%20Infanto-juvenil%20Prioridad%20de%20la%20Humanidad.pdf

Organización Mundial de la Salud (OMS) (2019ª, 2 de septiembre). Suicidio (Comunicado de prensa). https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/suicide

----- (2019b, 9 de septiembre). Cada 40 segundos se suicida una persona (Comunicado de prensa). https://www.who.int/es/news-room/detail/09-09-2019-suicide-one-person-dies-every-40-seconds

Ortega, M. (2018). *Comportamiento suicida. Reflexiones críticas para su estudio desde un sistema psicológico*. Qartuppi.

Osman, A., Gutiérrez, P., Kopper, B., Barrios, F., & Chiros, C. (1998). The Positive and Negative Suicide Ideation Inventory: Development and Validation. *Psychol. Rep., 82*(3), 783-793. https://doi.org/10.2466/pr0.1998.82.3.783

Papalia, D., Feldman, R., & Martorell, G. (2012). *Desarrollo humano*. McGraw-Hill.

Pérez-Amezcua, M., Rivera-Rivera, L., Atienzo, E., De Castro, F., Leyva-López, A., & Chávez-Ayala, R. (2010). Prevalencia y factores asociados a la ideación e intento suicida en adolescentes de educación media superior de la república mexicana. *Sal. Púb. Méx., 52*(4), 324-333. http://www.scielo.org.mx/pdf/spm/v52n4/v52n4a08.pdf

Riofrío, J., & Villegas, M. (2016). Distorsiones cognitivas según niveles de dependencia emocional en universitarios – Pimentel. *Rev. Cient. PAIAN, 7*(1). http://revistas.uss.edu.pe/index.php/PAIAN/article/view/311

Robles, R., González, E., Paéz, F., & Huerta, D. (2009). Establecen la validez de la versión en español del Inventario de Ideación Suicida Positiva y Negativa. Sociedad Iberoamericana de Información Científica. http://www.siicsalud.com/des/expertoimpreso. php/96232

Sánchez, J., Villarreal, M., & Musitu, G. (2013). Ideación suicida. En: G. Musitu (Coord.), *Adolescencia y familia. Nuevos retos del siglo XXI* (pp. 273-290). Trillas.

Solís, C., & Vidal, A. (2006). Estilos y estrategias de afrontamiento en adolescentes. *Rev. Psiq. Sal. Ment. Hermilio Valdizán, 7* (1), 33-39. http://www.mdp.edu.ar/cssalud/deptoterapia/archivos/Psicologia_General_SEMINARIO/ESTILOS_Y_ESTRATEGIAS_DE_AFRONTAMIENTO_en_adolescencia.pdf

Villardón, L. (2009). El pensamiento de suicidio en la adolescencia. https://books.google.com.co/books?id=aGT8y7P56IYC&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false

Recuerdos y procesos de resiliencia: un análisis del discurso con hijos de padres divorciados

Autora: Carina Carrazco Rodríguez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Psicología
Correo: al167531@alumnos.uacj.mx
Tutora: Dra. Elizabeth Bautista Flores

Resumen
Los procesos de divorcio entre los padres no suelen dejar gratos recuerdos en los hijos. Por ello, esta investigación buscó conocer: ¿cuáles son los recuerdos que tiene el individuo de cuando era niño? y ¿cómo enfrentó la separación de sus padres? De esta manera, se planteó el objetivo de identificar los recuerdos que tiene el sujeto y los elementos de resiliencia que utilizó para ser una persona con vida propia. Por lo tanto, se realizó una investigación cualitativa con corte descriptivo con enfoque de estudio de caso. El perfil de los entrevistados fue de individuos de entre veinte a treinta años de edad e hijos de padres divorciados en la ciudad de Nuevo Casas Grandes. El instrumento se aplicó del 4 al 13 agosto de 2021. Se descubrió que las redes de apoyo y vínculos afectivos son importantes dentro del entorno de la persona, pues ello incidirá en las motivaciones para seguir con la vida de los niños desde un proceso resiliente más sólido.

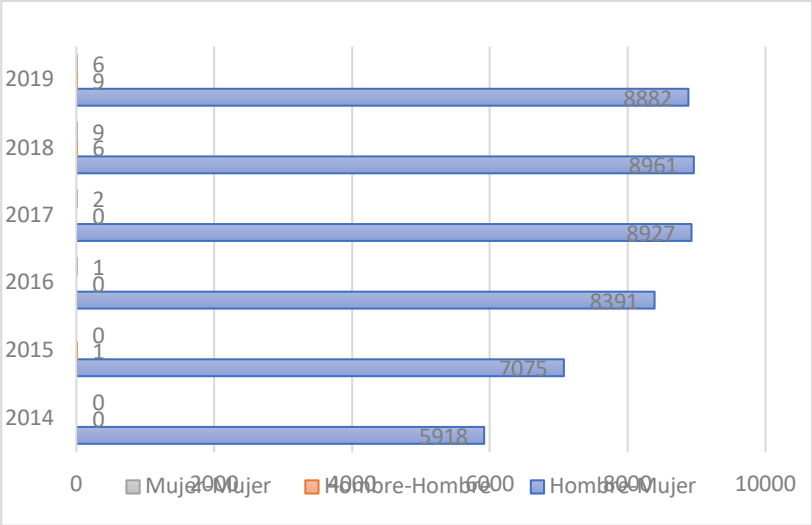
Palabras clave: análisis discursivo; divorcio; recuerdos; elementos de resiliencia.

Introducción
En el momento en que los progenitores deciden terminar con el matrimonio, los hijos pueden sentir una gran cantidad de emociones, desde sentirse poco tranquilos, porque quizá las disputas y violencia pudieran terminar, o bien, hasta sentir un vacío emocional que les impide comprender qué está pasando realmente. Este cambio en su estabilidad afectiva les puede ocasionar problemas emocionales que no les permitan desarrollarse o desenvolverse en su entorno.

Ochoa (2012) menciona que "El divorcio genera inestabilidad emocional en los padres y esto es transmitido hacia los hijos provocando un descenso en su rendimiento académico. (p. 37). En ocasiones, los niños no comprenden las situaciones y se sienten confundidos, porque no saben qué es lo que sucede ni comprenden cuál fue la razón de la separación; solo entienden que ya no verán a sus padres juntos o que, en su caso, dejarán de ver a uno de ellos. Por esto, también se ve repercutido en su área emocional, física y social.

a que el juez de lo Penal del Distrito Galeana menciona que el 48 % de los matrimonios antes de los 5 años de la unión terminan en los juzgados por un divorcio, por lo que se percibe que el contexto de divorcio existe en la localidad, de manera que fue un factor que ayudó a encontrar personas que cumplieran con el perfil del entrevistado (Valdovinos, 2019).

Gráfica 1. Divorcios en el estado de Chihuahua, según el tipo de divorciante (2014-2019)



Fuente: adaptado de: https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/

Metodología

Se realizó un estudio cualitativo llamado estudio de caso, debido a que iba más acorde con los objetivos a alcanzar en la investigación, porque el estudio de caso permite trabajar con los sujetos desde su experiencia y poder interpretar su historia de vida. Las entrevistas se hicieron de manera individual, aunque también hubo casos de hermanos, pero de igual manera fueron entrevistados de forma individual. En total fueron ocho personas entrevistadas, entre ellas, seis hombres y dos mujeres.

Respecto al perfil, se buscaron personas que pasaron por un proceso de divorcio en su infancia, o bien, adolescencia, sin importar el género, siempre y cuando estuvieran interesadas en participar y pudieran expresar la manera en que las situaciones conflictivas entre sus padres les afectaron y quiénes fueron sus redes de apoyo.

El instrumento de campo que se empleó fue una entrevista (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), en la que se tenía una serie de preguntas divididas en ítems con distintas variables a analizar que se abordaron de manera cronológica, con el fin de que el entrevistado recordara poco a poco el proceso de divorcio de sus padres. Los ítems son:

a) Parte demográfica
b) Matrimonio
c) Proceso de divorcio
d) Conflictos interpersonales entre los progenitores

e) Posdivorcio
f) Percepción de los conflictos en los hijos
g) Mecanismos de resiliencia

La entrevista duró alrededor de una hora, pues se buscó centrarse en el tema para que el entrevistado pudiera recordar. La aplicación del instrumento fue del 4 al 13 de agosto de 2021.

Después de la aplicación del trabajo de campo, se hizo un reporte en el que se plasmó toda la entrevista, desde las palabras que el sujeto expresaba hasta el comportamiento que adoptaba. Por otro lado, después del reporte se fueron buscando los patrones, categorías y temas (Güereca, Blásquez, & López, 2016) que existían entre los entrevistados para hacer un análisis de la información proporcionada.

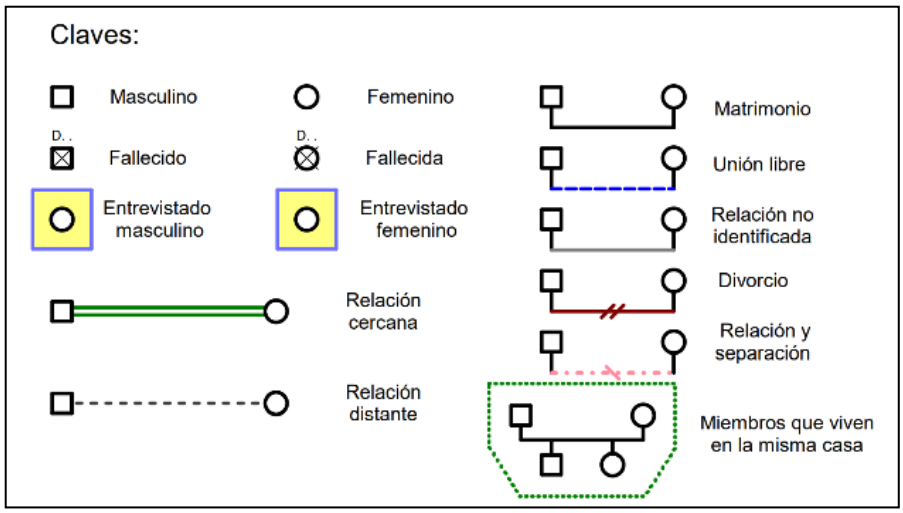
Resultados

Se realizó un familiograma por cada entrevistado usando la simbología que se observa en la figura 1; para ello, se utilizó la aplicación GenoPro. Después de elaborar los familiogramas de cada entrevistado, se hizo una descripción de cada uno y, al final, un análisis comparativo de todos los casos.

Con el fin de tener un panorama del sujeto a investigar un familiograma le permite al investigador comprender mejor las relaciones entre los dos miembros, la edad de cada uno de ellos e, incluso, los vínculos afectivos que posiblemente existan entre el entrevistado y la familia; también, buscar las categorías o patrones existentes en los discursos.

Ahora bien, en relación con los entrevistados se tuvo la participación de seis hombres y dos mujeres, de los cuales ninguno rebasó los treinta años de edad; dos personas están casadas, una vive en unión libre, dos están solteras y tres tienen una relación sentimental; tres de ellas ya tienen hijos pequeños.

Figura 1. Simbología del familiograma



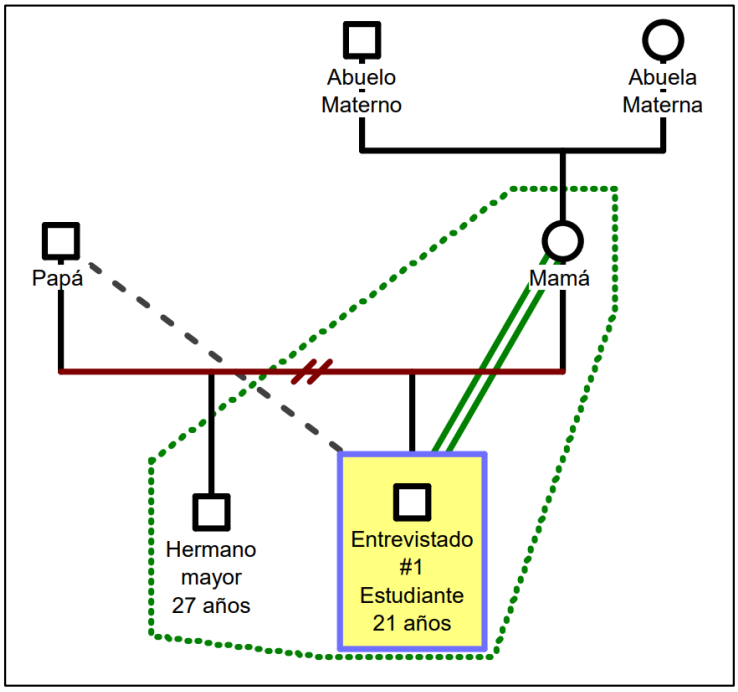
Fuente: Carrazco Rodríguez (2021).

De acuerdo con los familiogramas, los entrevistados tienen vínculos estrechos con los abuelos, hermanos, tíos o padres (figura 2), donde se muestra el vínculo afectivo cercano entre la madre y el entrevistado número 1, quien mencionó en la entrevista que su madre

siempre estuvo ahí para ellos, que buscó la manera de sacarlos adelante y, más que nada, cuando sucedían los conflictos con su padre, buscaba la manera de que él y su hermano mayor no se dieran cuenta ante esa situación.

Por lo tanto, la madre siempre estuvo con ellos en su desarrollo, antes y después del proceso, lo que permitió que el entrevistado en la actualidad se sienta contento con la vida que lleva y haya podido salir adelante.

Figura 2. Familiograma del entrevistado núm. 1

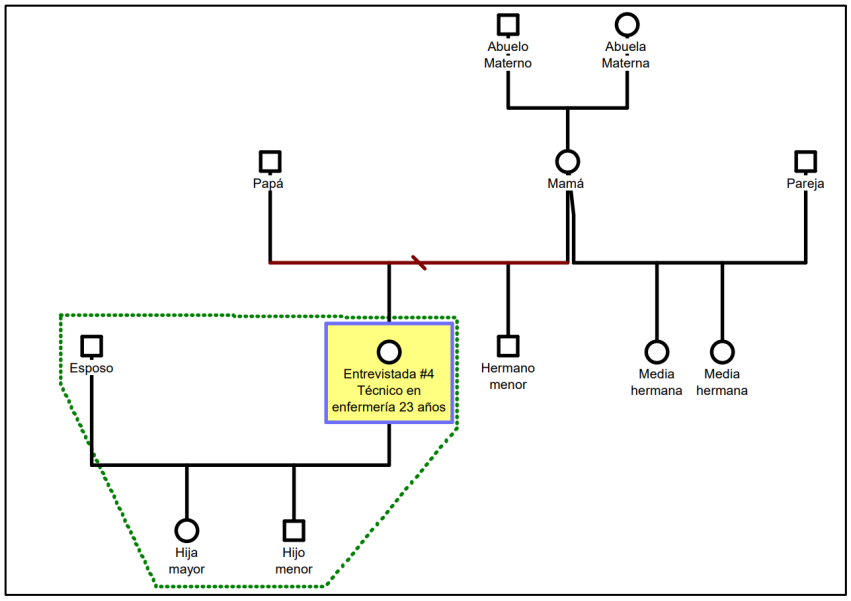


Fuente: Carrazco Rodríguez (2021).

En cambio, respecto al familiograma de la entrevistada número 4 (figura 3), se observa que una de las mujeres entrevistadas dijo que no contó con una red de apoyo o no tenía un vínculo afectivo con alguien de su familia. Posiblemente esa sea la razón de sentirse "sola durante el proceso de separación", pues en su idea nadie la apoyó o la ha apoyado; ella recordó que en algunos momentos "mi tía no me daba de comer a mi hermano y a mí; yo buscaba siempre agradar, porque me hacían menos"; su historia de vida la relata con cierto aire de tristeza.

En relación con este caso, se analizó un hecho interesante. La mujer entrevistada es la hermana mayor de su familia, por lo que comentaba que en el momento en que sus padres discutían ella buscaba la manera de jugar con su hermano menor, para que él no escuchara los conflictos. Cabe mencionar que este hecho se pudo observar en los tres casos en donde son hermanos mayores también; quizá esta acción se dé por el hecho de que, al ser el hermano mayor, se cree que este debe cuidar a los hermanos menores ante cualquier situación.

Figura 3. Familiograma de la entrevistada núm. 4



Fuente: Carrazco Rodríguez (2021).

De la misma forma, en cinco de los casos los abuelos integraron una red de apoyo durante el proceso de divorcio. Cabe señalar que la mayoría de los abuelos no estuvieron de acuerdo con el divorcio, pero aun así lo apoyaron; quizá porque estos buscaban tener un vínculo estrecho con sus nietos para protegerlos o ayudarlos, porque les preocupaba su estabilidad debido a las fuertes situaciones que aquellos pasaron.

Incluso, los hermanos mayores de nuevo fueron red de apoyo para tres de ellos, los hermanos menores, por lo que se repite el patrón de protección y apoyo. Probablemente esto se deba a que los hermanos menores no están enterados muy bien de la situación o no son conscientes, mientras que los hermanos mayores entienden mejor el contexto y buscan evitar sufrimiento para sus hermanos menores.

Algo parecido sucede también con los elementos de resiliencia, ya que los hombres mencionan que no se les dificultó seguir con su vida, pero, de nuevo, las mujeres mencionan que a ellas, sí; ocurre lo mismo que con las afectaciones físicas: la mujer sí tiene permitido, por lo general, quejarse, ya que entre más débil sea es mejor, porque así el varón cumple mejor su papel de hombre fuerte y protector.

Conclusiones

Finalmente, en relación con las interrogantes que surgieron ante el interés de trabajar con la investigación: ¿cuáles son los recuerdos que tiene el individuo cuando era niño? y ¿cómo enfrentó la separación de sus padres?, los recuerdos que tienen las personas respecto al divorcio de sus padres son interesantes por la razón de que argumentaban que se sentían enojadas o tristes por los conflictos que veían; por ejemplo, si veían sufrir a la madre, o bien, intentaban cuidar a sus hermanos más pequeños.

Incluso, en los casos de mujeres les ocasionaron afectaciones físicas, como migraña, ataques de ansiedad, entre otros; más que nada se les dificultaba tener una buena

concentración en la escuela, o bien, se sentían tristes, porque crecieron sin su padre en la casa.

Se encontraron dos tipos de recuerdos: hay quienes dijeron: "sufrí mucho", "se me dificulta pasar mi vida", "fueron muchos errores", pero, por otro lado, expresaron: "estoy contento con mi vida", "estoy feliz con mi vida", por lo que existen diferencias de recuerdos debido a los diferentes procesos de divorcio manejados.

Aunque, por otro lado, las mujeres mencionaban que los conflictos que vivieron en su casa fueron difíciles —y aún lo siguen siendo—, por lo que sienten que esos recuerdos no les permiten avanzar, que no son felices con sus vidas, o bien, que no tuvieron una red de apoyo que las impulsara a salir adelante.

No obstante, se descubrió que los hijos en un divorcio experimentan distintas emociones, pensamientos, que los hará comportarse de diferentes maneras; como se observa en el primer caso, el entrevistado decía: "mi madre fue muy prudente", "supo cómo manejar la situación", po lo que se pudieron observar los vínculos fuertes entre la madre y el hijo, que es donde se afirma que el entorno de un niño es importante.

Así como lo maneja Edith Grotberg (2006) en su Modelo de las Verbalizaciones Resilientes, en el que expresa que, debido a esos tres factores mencionados anteriormente, las personas trabajan mejor la resiliencia. Cabe mencionar que algunos de los entrevistados trabajaron en estos tres factores, de manera que pudieron salir adelante.

Del mismo modo, se considera que el entorno en un niño es muy importante, debido a que se obtuvo en dos de los casos que la madre buscó ser empática y abierta con sus hijos, de tal manera que entendieran lo que estaba sucediendo y así darles una oportunidad para que continuaran el camino que ellos eligieran, por lo que ellos, en la actualidad, son jóvenes contentos con su vida; quizá no crecieron con el padre, pero sí tuvieron una madre incondicional.

En conclusión, se deduce que a un ser humano que experimenta hechos problemáticos, fuertes, tristes, se le dificultará salir adelante cuando carece de soportes afectivos sólidos, o bien, continuará con su vida, pero cargará con los estragos de su pasado, porque no tuvo una red de apoyo con quien sentir que podía contar emocionalmente para platicar o desahogarse acerca de lo que sentía.

De tal manera que lo que decía Grotberg (2006) en su Modelo de las Verbalizaciones Resilientes toma gran importancia en el desarrollo de un niño, por lo que es cierto que, si existen estos tres factores en el menor, le permitirán desenvolverse de una mejor manera.

Para terminar, cuando sucede un divorcio los hijos requieren de ayuda emocional, es decir, comprensión y confianza, porque un niño no se fijará si es familia o no, ya que solo percibe afecto de alguien más y, posiblemente, se formará un vínculo afectivo sólido e importante que le ayude a superar las situaciones difíciles de su niñez.

Referencias

Antaki, C., Martínez, F., Edwards, D., Ibáñez, G., Íñiguez, L., Martín, R., Mincoff, V., & Jane, S. (2006). *Análisis del discurso. Manual para las ciencias sociales*. Editorial UOC. file:///C:/Users/carra/Downloads/Analisis-Discurso.pdf

Grotberg, E. (2006). ¿Qué entendemos por resiliencia?, ¿cómo promoverla?, ¿cómo utilizarla? En: E. Grotberg (Ed.), *La resiliencia en el mundo de hoy. Cómo superar las adversidades* (pp. 17-57). Gedisa.

Güereca, R., Blásquez, L. I., & López, I. (2016). *Guía para la investigación cualitativa: etnografía, estudio de caso e historia de vida*. Universidad Autónoma Metropolitana. http://www.ler.uam.mx/work/models/UAMLerma/Resource/290/1/images/guia_investigacion_cualitativa_etnografia.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2019). Estadísticas de nupcialidad. Divorcios por entidad federativa de registro según tipo de divorciante, 2014 a 2019. https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/

Ochoa, R. D. D (2012). El divorcio y su influencia en el rendimiento académico en estudiantes de segundo año de bachillerato [Tesis de grado para optar a grado académico de Psicología Educativa y Orientadora Vocacional]. Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/5983/1/Tesis

Valdovinos, V. H. (2019, 10 de mayo). Tiene NCG la tasa más alta de divorcios. *ElDiario.mx.* https://diario.mx/

La mímesis de la identidad en *El lugar sin límites* de José Donoso

Autora: Jeniffer Navarrete García
Universidad Autónoma de Chihuahua
Programa: Maestría en Investigación Humanística
Correo: jeniffernavarrete98@gmail.com
Tutor: Dr. Iram Isaí Evangelista Ávila

Resumen
La investigación propone analizar la representación de la identidad en la novela *El lugar sin límites* de José Donoso, a partir del concepto de mímesis de Paul Ricœur. Para lograr este objetivo, se aplicó la Teoría de la Triple Mímesis de este hermeneuta francés; comprendiendo la mímesis como la recreación de las acciones humanas, en nuestro análisis pretendemos demostrar que la literatura es competente al representar problemáticas sociales, como la marginalidad, la transgresión y la violencia.

Palabras clave: mímesis; identidad; marginalidad; transgresión; violencia.

Introducción

La narrativa plasmada por José Donoso en la novela *El lugar sin límites* habilita que percibamos diversos escenarios, cuyo análisis resulta imprescindible para el vislumbramiento de la obra en su estado panorámico. Al exteriorizarse la conciencia de los procesos trascendentes en la experiencia literaria, nos proponemos examinar la presencia de un concepto tan integral, como la identidad, especialmente aquella que, por mostrarse en la transgresión, conduce a la marginación y a las diversas manifestaciones de la violencia.

Así pues, a partir de la aplicación de la Teoría de la Triple Mímesis presentada por el filósofo Paul Ricœur, emprendimos la examinación del proceso literario que erigió dos personajes imprescindibles para el advertimiento de esta novela. Por consiguiente, examinamos el nacimiento prefigurador que emana como precedente a la obra y que ya va erigiendo la mímesis, a través de elementos contextuales. Las particularidades de la composición que, en su configuración, focalizan aspectos como los simbólicos y temporales que aportan en el vislumbrar de las identidades transgresoras de los dos personajes que motivaron esta investigación; y por último, señalamos la refiguración, proceso analítico y renovador que otorga a la obra la consumación de sus sentidos, a través de la lectura. Las caracterizaciones identitarias de los agentes literarios, se mostrarán con la función narrativa de recrear el modelo transgresor de la masculinidad, así como también los esquemas del machismo presentes en Latinoamérica. Atendiendo la finalidad de explorar la globalidad del proceso mimético en esta obra literaria, aseveramos la competencia narrativa para conferir una parte de los más complejos sustratos de nuestras sociedades, aquellos que tienden a ser ignorados por mostrarse como infractores de los esquemas establecidos.

Justificación

La investigación emergió de la necesidad de estudiar la constitución de personajes que se configuran en condiciones que circundan la naturaleza compleja de los seres humanos. En México, resulta oportuno conducir análisis que aludan a este tipo de cuestiones sociales, pues los esquemas han sido transfigurados con lentitud y continúan en una línea rígida que requiere exploración. Resulta inevitable abordar obras que, como *El lugar sin límites,* circunden las identidades transgresoras, especialmente porque más que en otros contextos la literatura, en conjunto con su poder para visibilizar la marginalidad, ha sido relegada por un largo tiempo y, hasta ahora, el proceso de análisis y crítica al respecto ha sido tardío e irregular.

La "Manuela", hombre travesti que trabaja en un burdel, y "Pancho Vega", individuo simuladamente macho, son dos personajes esenciales en la novela, pues recrean condiciones, esquemas, ideas e intenciones. Esta obra de Donoso, con su constante representación de figuras transgresoras, nos permite analizar el imitar de identidades que dentro de un sistema social y moral existen y son parte de la formación cultural de la sociedad, aunque sean rechazadas constantemente. Así pues, el abordaje a partir de la mímesis resulta idóneo para la interpretación de los personajes, pues trasciende su existencia en la trama y admite el análisis de los mismos dentro y fuera de esta. Por ello, se ha mostrado que es fundamental tomar base en la teoría de Paul Ricœur sobre la mímesis para llevar una aplicación a la novela, pretendiendo vislumbrar con ello lo fundamental de reparar en aquello que reside antes, dentro y después del quehacer literario. Por todo lo anterior, consideramos que *El lugar sin límites* es una obra que demanda investigación, pues sus elementos —ahora más que nunca— exigen explorar aquello que llevó al autor a redactar mimetizando ciertos elementos sociales de manera determinada.

Metodología

La metodología elegida reside en lo que propone Paul Ricœur (2004) en su obra *Tiempo y narración*, pues coincidimos al considerar que los procesos de recreación trascienden la obra. Vislumbrando esto y siguiendo la teoría de Ricœur, inauguraremos el análisis a través de la mímesis I o prefiguración. En esta primera etapa observaremos el contexto que circundó a la novela y a su autor, para dilucidar aquello que originó las identidades en la obra: las estructuras inteligibles, es decir, la relación entre el conocimiento práctico del mundo y los agentes de la narración. Los elementos simbólicos que rodearon aquello que precede a la obra, así como también los aspectos temporales de ese contexto.

Una vez culminada la aplicación del primer estadio mimético, proseguiremos a la mímesis II o configuración, que refiere a la creación narrativa por sí misma. Así pues, se observarán las acciones presentadas en la trama, causas, motivos, fines, personajes y la temporalidad.

La última fase de la metodología será la aplicación de la mímesis III, también llamada refiguración. Esta etapa focaliza al lector mediante un ejercicio que permite vislumbrar y examinar la apropiación del entendimiento, la alineación mental del personaje, de los símbolos en la obra, la catarsis y las diversas posibilidades intertextuales que germinan a partir de la refiguración.

Conceptos clave: mímesis, identidad, transgresión

La mímesis, también referida como recreación, se ha presentado a través de la historia. Platón, Aristóteles, Paul Ricœur, entre otros, han hablado de la actividad mimética en la creación literaria. En *Tiempo y narración*, Ricœur (2004) continúa la línea del pensamiento de Aristóteles descomponiendo la mímesis en tres estadios a los que ya hemos aludido brevemente en la metodología.

De la prefiguración, Ricœur (2004) explica que: "La composición de la trama se enraíza en la precomprensión del mundo de la acción: de sus estructuras inteligibles y de su carácter temporal" (p. 116). La configuración, centrada en la trama, implica la integración de agentes, medios, fines, circunstancias, relaciones; incluso cuando estos se manifiestan de manera heterogénea, a través de sus propias particularidades temporales (pp. 131-132). La última fase mimética puede ser explicada, en términos generales, de la siguiente forma: "Mímesis III marca la intersección del mundo del texto y del mundo del oyente o del lector: intersección, pues, del mundo configurado por el poema y el mundo en el que la acción efectiva se despliega" (p. 140). Así pues, las tres fases miméticas nos permitirán observar los fenómenos literarios de forma panorámica.

Otro concepto clave a dilucidar es el de la identidad. Como individuos sociales podemos percibirnos desde dos vertientes:

> como objeto, es decir, bajo el punto de vista del observador externo que lo percibe desde afuera como una identidad social; y como sujeto, o sea, bajo el punto de vista del propio actor social que se autopercibe como fuente consciente y motivada de su acción (Bonfil Batalla, 1993, pp. 23-24).

Así pues, podemos decir que: "La identidad propia emerge y se consolida únicamente al confrontarse con identidades distintas" (Bustillos, 2000, pp. 8-9), mientras que la colectiva se edifica "sobre las viejas tradiciones de corte regional y comunal, con base en la amalgama de materiales que provienen de la historia, la geografía, la memoria colectiva, […] los aparatos de poder y las revelaciones religiosas" (p. 9). Por lo anterior, se entenderá por identidad al conjunto de aspectos que determinarán las características de la persona, tanto en lo externo como en la autopercepción. Tomando en cuenta que detrás de esas percepciones externas e internas reside la influencia de una sociedad determinada. En lo referente a la transgresión encontraremos que implica el quebrantamiento de elementos físicos, sociales y simbólicos establecidos en determinado contexto. Es un acto de oposición en referencia a aquello que es aceptado como regular; con esto, lo que se pretende es alcanzar una realidad plena en una acción inclusiva hacia la otredad y lo prohibido (Mamzer, 2006, pp. 119-120). La transgresión será toda acción humana que va más allá de los límites, la oposición a los sistemas establecidos por la sociedad, tanto en los planos físicos como simbólicos.

Aplicación: La triple mímesis en El lugar sin límites

La Manuela y Pancho Vega son dos entes ficcionales fundamentales en la obra, cuyas identidades fueron edificadas de forma minuciosa. Por cuestiones de extensión, explicitaremos solamente algunos de los elementos encontrados en la aplicación de los tres estadios miméticos, pero nos aseguraremos de indicar los resultados en las conclusiones.

En referencia al primer agente narrativo, es posible concretar información sobre su prefiguración en la crónica de 1963 que Donoso tituló "Lo divino y lo profano en Yumbel", donde el escritor nos permite situarnos en el encuentro con una joven gitana que baila al ritmo de música española:

> Una gitanilla rubia, […] entró al local a pedir limosna. Venía descalza y sucia, y su voz parecía la de una mujer, así como sus graciosos andares y sus maneras desenfadadas. En una pausa del baile, la muchacha salió a la pista, y cuando la orquesta comenzó a tocar música española, espontáneamente rompió a bailar (Donoso, 2016; citado por Ferrada Aguilar, 2016, p. 66).

Si bien podemos dialogar sobre los elementos diferenciales entre la gitana y la Manuela, esta crónica, precedente a la publicación de la novela *El lugar sin límites*, evidencia ciertas particularidades de una realidad que encontró despliegue en la obra; al vislumbrar el fragmento es posible localizar ciertas similitudes inmediatas entre la gitana y la Manuela.

Si, como ya hemos afirmado, la referencia gitana prefiguró la constitución del personaje es necesario dilucidar de qué forma se exterioriza este elemento marginal. Recordemos que la Manuela, se manifiesta en una realidad oprobiosa a causa de la prostitución. En Latinoamérica, dicha existencia social moldea la identidad de los individuos dentro de la hostilidad:

> […] la prostituta acoge una fatalidad de penitencia y condena sociales […]. Por un lado, es despreciada y estigmatizada por la sociedad, pero por el otro su cuerpo es usado en la clandestinidad por aquellos que la señalan en la vida pública (Bianchi, 2013, p. 2).

Así pues, es posible que, de alguna manera, Donoso presenciara y reflexionara sobre una parte latente de la identidad marginal. La Manuela habita en la expectativa de lo ilícito, lo despreciado, pero tampoco podemos negar un carácter performativo que, como la prostituta, se coloca en las líneas del uso social.

En unión a la Manuela, en el presente estudio vislumbraremos los esquemas de la masculinidad aumentada, tal y como sucede con el personaje de Pancho Vega. La obra, pensada y publicada en los años sesenta, se encuentra inmersa en una realidad en donde la masculinidad latinoamericana es específica por aquellas particularidades que deben observarse desde "[…] la producción de la masculinidad e identidad masculina en relación al llamado 'modelo de masculinidad hegemónica' o 'modelo normativo de masculinidad'" (Hernández, 2008, pp. 154). Por consiguiente, es necesario comprender que, arraigado a los esquemas en Latinoamérica, especialmente en el siglo pasado, encontramos al machismo y su figura predilecta "El macho". El macho se alza en actos performativos que elevan la heterosexualidad, la violencia y el poder por encima de lo que socialmente se percibe como femenino. Este esquema de masculinidad que no es la norma, pero sí ha emergido con insistencia, especialmente en Latinoamérica, ha encontrado representación en los dispositivos culturales de diversas naturalezas.

En *Correr el tupido velo*, libro publicado por Pilar Donoso (2019), hija del escritor, se exponen diversas consideraciones acerca de las experiencias de vida de este autor chileno. Así pues, es posible localizar el anexo de una carta del escritor cuyo destinatario es María Pilar, su esposa: "Hay cientos de miles de cosas que no he hablado aquí: mi homosexualidad, pasiva y latente e imaginativa en este momento, como una huida al miedo de la entrega total a ti […]" (pp. 31-32). Vislumbrar este fragmento permite la conjetura de las prefiguraciones de Pancho Vega. La experiencia personal, junto con las prácticas en sociedad, consienten el tejido prefigurativo del personaje. Es posible inferir que la raíz mimética de Vega reside no solamente en el modelo social de la masculinidad, sino también en la propia existencia del autor. El enmascaramiento de la verdadera identidad, asistido

por el machismo, es uno de los elementos esenciales de la constitución de Pancho Vega. Así, autor y personaje convergen en la imitación de la propia existencia.

Respecto a la configuración, diremos que en *El lugar sin límites* José Donoso presenta una trama que resulta compleja por la naturaleza de sus personajes y su forma de exhibirse como entes recreadores. La Manuela, protagonista de la composición, vivirá condenada; y la Estación El Olivo será el lugar definitivo de reprobación ante la transgresión de su constitución. Pancho Vega, por otro lado, se mostrará como personaje fundamental por su forma de vivir esa reprobación, pues, aunque pretende mantenerse apartado, se encontrará atado a una realidad asfixiante que también lo victimiza al amenazar y suprimir su verdadera naturaleza.

En la composición, la Manuela es establecida como personaje que exhibe una identidad que puede ser vislumbrada dentro de las líneas de la transgresión, pues, al presentarse como un hombre cuya identidad se opone a la que se le contribuye socialmente, va más allá de los límites determinados. Al inicio de la obra, José Donoso (2017) presenta al personaje de la siguiente forma: "La Manuela despegó con dificultad sus ojos lagañosos [...] Se cubrió los hombros con el chal rosado revuelto a los pies del lado donde dormía su hija" (p. 23). La performatividad femenina de la Manuela es esencial para su análisis, pues el autor coloca al personaje en las líneas de la ambigüedad; no solo lo muestra dentro de los esquemas sociales de la feminidad, sino que opta por postergar brevemente el develamiento de su condición biológica. Carmen Balart Carmona (2019) comenta que la Manuela es: "[...] un homosexual, reconocido y autorreconocido como tal; que transita entre un exterior de apariencia masculina y un interior de identidad femenina" (p. 8). Así, advertiremos que la identidad propuesta para la configuración de la Manuela difiere de los esquemas de la masculinidad hegemónica; el escritor ha transformado esa idea antecesora al texto para representar una clase de existencia inconcreta que oscila entre lo femenino y lo masculino, un enfrentamiento entre la psique y las posibilidades consentidas por la sociedad.

El rechazo será un elemento recurrente para la vida de la Manuela, acorralando su constitución desde la infancia hasta los últimos instantes de su existencia:

> De una casa de putas a otra. [...] desde que lo echaron de la escuela cuando lo pillaron con otro chiquillo y no se atrevió a llegar a su casa porque su papá andaba con un rebenque enorme [...] y entonces se fue a la casa de una señora que le enseñó a bailar español (Donoso, 2017, pp. 100-101).

Así pues, su existencia fundada en la transgresión tendrá como consecuencia una marginalidad que emana con violencia poliforme. La conciencia de la infracción y la consecuencia admitida de la marginalidad, se mostrarán como elementos constitutivos en la identidad del personaje.

Sobre Pancho Vega podemos decir que es un personaje que recrea a los individuos que residen dentro de los diagramas de la masculinidad hegemónica que antes hemos mencionado; caso distinto al de la Manuela, quien podría ser vislumbrada como ese "hombre a medias", contrario a la figura del "verdadero hombre", a partir de la cual Pancho Vega se edifica superficialmente. La novela enfatiza su existencia al ostentarlo de forma inmediata: "[...] su camión andaba por ahí, su camión ñato, colorado, con doble llanta en las ruedas traseras. [...] Pancho podía estar en el pueblo todavía... Sus manos duras, pesadas, como de piedra, como de fierro [...]" (Donoso, 2017, pp. 23-24). Así, veremos que tanto las características físicas develadas paulatinamente como los elementos que circundan al personaje emergen para afirmar una identidad que se adhiere a la masculinidad aumentada; si los símbolos adjudicados a la Manuela denotan feminidad, los de Pancho se adhieren a lo que socialmente ha sido considerado como masculino.

En la composición, Pancho Vega desplegará episodios violentos, físicos y verbales:

> Entonces Pancho y sus amigos se enojaron. Empezaron por trancar el negocio y romper una cantidad de botellas y platos y desparramar los panes y los fiambres y el vino por el suelo. Después, mientras uno le retorcía el brazo, los otros le sacaron la ropa y poniéndole su famoso vestido de española a la fuerza se lo rajaron entero (Donoso, 2017, pp. 24-25).

De esta forma, los modos del macho serán reafirmados. La Manuela, frente al machismo de Vega, se reduce a un objeto de rechazo y, en la destrucción del vestido, Pancho pretende, como forma de reafirmar su masculinidad a través de la invalidación de la feminidad, anular uno de los elementos esenciales para la existencia identitaria del personaje frente a él.

Pese a lo anterior, Vega converge con la Manuela en algunos aspectos de su identidad. En el artículo de Balart Carmona (2019), se menciona lo siguiente sobre la configuración del personaje: "[…] símbolo del hombre-macho, […] la confusión de roles. […] Pancho Vega, un joven de apariencia externa masculina que esconde una tendencia homosexual que, de descubrirse, revelaría su verdadera identidad, la que oculta por el temor al oprobio social" (pp. 7-8). La novela manifiesta que Vega no es el hombre macho que simula, sino que, en consonancia con la Manuela, dentro de sí guarda una constitución transgresora. A través de este personaje, Donoso configura la recreación de individuos que encaran la realidad de la propia identidad frente a la sociedad y frente a sí mismos.

Teniendo claras las generalidades configurativas de ambos personajes, culminaremos la aplicación mimética con la refiguración. Los símbolos de la composición son capaces de manifestarse como posibilitadores de la innovación mimética. Por lo anterior, analizaremos algunos símbolos en un ejercicio refigurativo. El vestido rojo de la Manuela representa lo femenino, por lo que portarlo permite reafirmar la identidad: "El vestido de española es una metonimia de la eliminación del hombre. Al romper el vestido de la Manuela, Pancho promueve la aparición de lo masculino […]" (Náter, 2006, Párr. 16). Además, el color del vestido de la Manuela se destaca por su convergencia con el camión rojo de Pancho Vega. El color rojo pertenece al grupo de "[…] colores cálidos y avanzantes, que corresponden a procesos de asimilación, actividad e intensidad […]" (Cirlot, 1992, p. 135). Por otro lado, el color rojo alcanza numerosas vertientes simbólicas que abarcan la sangre, la vida, las pasiones y los sentimientos (Chevalier, 1986, pp. 320-322). Tales consideraciones simbólicas nos permiten establecer que el vestido y el camión evocan los avances de ambos personajes hacia la identidad deseada: son las pasiones anheladas, la transición a la vida más allá de la mera existencia y la presencia de los sentimientos vehementes.

Por otro lado, la Estación El Olivo emana como espacio simbólico infernal que amenaza a ambos personajes, pues, por un lado, pareciera imposible abandonarlo, incluso en la separación física, como sucede con Pancho Vega, y por otro, hay una condena de desintegración, que se hace presente en el olvido del pueblo y las fuerzas que lo consumen. Más sugestivo aún es comprender que "[…] el infierno es el estado de la psique que ha sucumbido a los monstruos en su lucha, sea que haya probado de rechazarlos a lo inconsciente, o que haya aceptado identificarse con ellos por una perversión consciente" (Chevalier, 1986, p. 592), pues tal sucumbir sucede en ambos agentes.

Así como la exégesis de lo simbólico, la refiguración reside también en la producción gestionada a partir de la novela. Pilar Donoso (2019) relata que cerca de diciembre de 1970, José Donoso

> […] recibe el llamado de Época Films, los productores de Tristana, de Luis Buñuel, pues «el maestro» quería hablar con él. Mi padre viajó inmediatamente a Madrid y estuvo tres días hablando con el cineasta, interesado en hacer una película de *El lugar sin límites* (pp. 28-29).

Aunque al final la película sería materializada por el director mexicano Arturo Ripstein, este es un ejemplo de una mímesis que ha refigurado la obra. Por último, diremos que la producción de otras obras con temáticas similares funge como refiguración, pero, por ahora, no ahondaremos en ellas.

Conclusiones

Como se ha mencionado, la aplicación desarrollada no enuncia todos los resultados; sin embargo, podemos afirmar la efectividad de la triple mímesis como la propone Paul Ricœur. Así, aseveramos que el proceso literario trasciende las palabras, pues la narración, además de mostrar una complejidad narrativa, que en la presente investigación fue reafirmada al analizar la configuración identitaria de dos personajes, ratificamos el antes y el después en la obra. En este caso, identificamos estructuras históricas, prácticas y biográficas que evidencian la prefiguración de la narración. Por otro lado, a través de la interpretación simbólica y la enunciación de productos que emanaron a partir de la contemplación de lo configurado en la obra, productos visuales y de naturaleza literaria, confirmamos la mímesis refigurativa. Con todo esto, demostramos que la novela *El lugar sin límites* puede ser analizada, a través de la teoría mimética de Paul Ricœur, como una recreación de las acciones humanas, pues en su configuración representa identidades que, por mostrarse como transgresoras, suelen habitar en la marginación.

Referencias

Balart Carmona, C. (2019). Personajes y espacio: diversidad e inclusión en la novela *El lugar sin límites*, de José Donoso. *Contextos: Est. Hum. Cienc. Soc.*, 43. http://revistas.umce.cl/index.php/contextos/article/view/1489

Bianchi, P. D. (2013). La subjetividad y el goce femeninos. Las nuevas representaciones de las prostitutas en la literatura latinoamericana contemporánea. Cuerpos, placeres y alteraciones. *Hisp. J.*, 1, 1-25. http://www.hispanetjournal.com/LasubjeMaria.pdf

Bonfil Batalla, G. (1993). *Nuevas identidades culturales en México*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

Bustillos, S. (2000). Reflexiones teóricas en torno a la identidad. *Avances*, 19. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez-Instituto de Ciencias Sociales y Administración.

Chevalier, J. (1986). *Diccionario de los símbolos*. Herder.

Cirlot, J.-E. (1992). *Diccionario de símbolos*. Labor.

Donoso, J. (2017). *El lugar sin límites*. Alfaguara.

Donoso, P. (2019). *Correr el tupido velo*. Alfaguara.

Ferrada Aguilar, A. (2016). La construcción marginal de Santiago en las crónicas de José Donoso. *An. Lit. Chil.*, 25, 55-79. https://www.researchgate.net/profile/Andres_Ferrada_Aguilar/publication/310459417_The_marginal_construction_of_santiago_in_Jose_Donoso's_chronicles/links/582df0c208ae102f072db2e2/The-marginal-construction-of-santiago-in-Jose-Donosos-chronicles.pdf

Hernández, O. M. (2008). Estudios sobre masculinidades. Aportes desde América Latina. *Rev. Antropol. Exp.*, 7, 153-160. http://americalatinagenera.org/newsite/images/cdr-documents/publicaciones/estudios_sobre_masculinidades_al.pdf

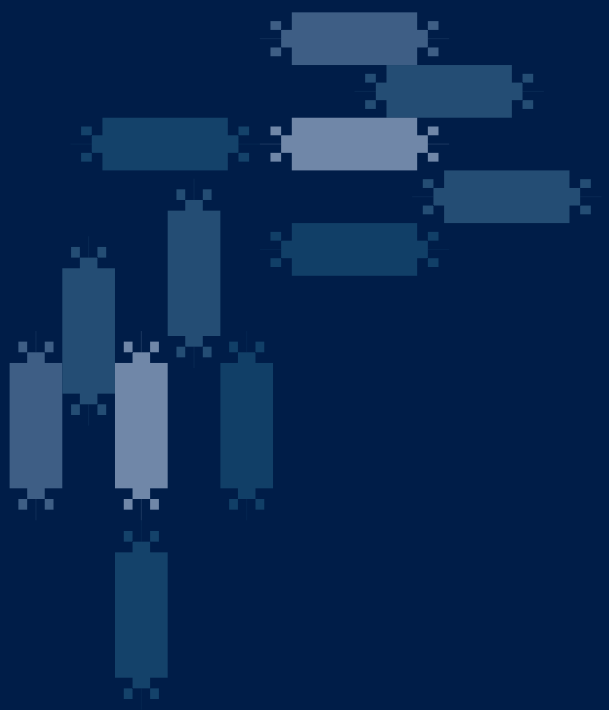
Mamzer, H. (2006). La identidad y sus transgresiones. *Ventana. Rev. Est. Gén., 3*(24), 118-149. http://www.scielo.org.mx/pdf/laven/v3n24/1405-9436-laven-3-24-118.pdf

Náter, M. Á. (2006). José Donoso o el eros de la homofobia. *Rev. Chil. Lit.*, 68, 123-140. https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?pid=S0718-22952006000100005&script=sci_arttext&tlng=en

Ricœur, P. (2004). *Tiempo y narración I*. Siglo XXI.

ÁREA V.

CIENCIAS SOCIALES



Crecimiento económico del Bajío: factores industriales e institucionales (1990-2019)

Autora: Karen Yoselin Acosta Chávez
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Economía
Correo: acosta_yosselin@outlook.com
Tutora: Dra. Lourdes Ampudia Rueda

Resumen
La Región del Bajío, ubicada en el centro de México, ha crecido en la última década por su especialización industrial y *clusterización*. La inversión extranjera directa, especialmente después de 2011, ha ocasionado una expansión de las industrias, destacando la automotriz. Además, la región tiene un corredor logístico industrial que la vuelve competitiva en términos de distancia y costos de transporte, conectividad y enlaces horizontales de proveeduría nacional. En la presente investigación, se analiza el periodo 1990-2019, a partir de variables de especialización y diversificación industrial, y los flujos de inversión extranjera directa. Ofrece una medición de indicadores institucionales seleccionados en el Índice de Prosperidad Regional, que, según la Teoría Institucionalista, contribuyen al crecimiento económico aportando una base para estudios posteriores, que incluyan al fortalecimiento institucional como parte del crecimiento económico en otras regiones industriales de México.

Palabras clave: localización; aglomeración industrial; instituciones; crecimiento endógeno regional.

1. Introducción

La Región del Bajío, ubicada en el centro de México, está integrada por los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí. En conjunto, ha mantenido tasas de crecimiento promedio anual del producto interno bruto (PIB) de 4.5 % desde 2010 y su recuperación después de la crisis inmobiliaria de 2008 fue más rápida que en otras entidades del país, con 6.5 % de crecimiento promedio en 2010. La inversión extranjera directa (IED) en la región acumula un 6.6 % del total nacional con tasas de crecimiento promedio anual de 15.5 % (Secretaría de Economía, 2020).

Las actividades económicas preponderantes son la fabricación de partes para vehículos automotores, componentes electrónicos, confección de prendas de vestir, calzado, aparatos eléctricos de uso doméstico y productos de plástico (Inegi, 2014). Estos sectores de la actividad económica son relevantes en los cuatro estados, por lo que podría tratarse como una región con estructuras económicas similares.

El interés de investigación tiene como premisa que la búsqueda de un emplazamiento adecuado para establecer una actividad económica tiene que ver con el origen de la demanda

de los bienes producidos, según la Teoría de Localización (Hoover, & Giarratani, 1984). La ubicación de los estados del Bajío en el centro del país resultaría opuesta a dicha teoría, si se toma como preámbulo la recepción de inversiones estadounidenses, a partir de la apertura comercial. La región ha recibido flujos considerables de IED, provenientes de Asia y Europa, por las ventajas comparativas en su localización próxima a la capital del país y a los puertos marítimos de exportación (Moreno, 2015).

1.1 *Justificación*

El caso del Bajío es significativo como punto de referencia en el crecimiento económico regional, porque en los últimos años ha sido un destino importante de IED a nivel nacional, reconfigurándose en su estructura económica, industrial y de políticas públicas, aunado a la disponibilidad de infraestructura para la atracción de nuevos establecimientos industriales.

1.2 *Hipótesis*

La acumulación territorial de IED y la construcción de infraestructura (causación circular acumulativa, Myrdal [1986]), así como la vocación de las ciudades que integran la región para realizar ciertos tipos de actividad industrial especializada (Krugman, & Venables, 1995), han propiciado su crecimiento económico en la última década.

2. Marco teórico y conceptual

2.1 *Marco conceptual*

Una región económica es una aglomeración de la actividad económica y la distribución de la población en un lugar dado por asentamientos geográficos o político-sociales, con el rasgo más característico de la economía del espacio: *la no homogeneidad*. Estas aglomeraciones regionales son visibles dentro de la economía nacional; algunas zonas tienen poblaciones más densas y participaciones más altas en la actividad industrial. Dentro de las regiones pueden observarse aspectos dominantes como grupos de personas e industrias, que funcionan como atractivos de población, bienes, servicios e ingreso (Mendoza, & Díaz-Bautista, 2006).

2.2 *Crecimiento regional endógeno y Teoría de la Base Exportadora*

El crecimiento económico regional puede cuantificarse a través de nuevos modelos de crecimiento endógeno (MCE), que incorporan procesos internos de acumulación y competencia, a diferencia de los modelos neoclásicos, que tratan el progreso técnico de manera exógena. Los MCE incorporan impulsores regionales, como la generación de nuevos conocimientos y externalidades que se originan por procesos de aprendizaje o *learning by doing* y la formación de recursos humanos. En este sentido, el crecimiento regional endógeno tiene que ver con la potencialización del territorio (Estrada, 2000). El desarrollo de las instituciones y sus cambios son mecanismos esenciales para el crecimiento endógeno regional, porque facilitan la interacción entre las empresas y los actores institucionales, y disminuyen el riesgo e incertidumbre en las transacciones industriales y comerciales (Vázquez, 2005).

La Teoría de la Base Exportadora enuncia que hay una relación estable entre el crecimiento de una región y su nivel de exportaciones a largo plazo; es decir, el crecimiento de una zona depende directamente de la expansión de aquellas industrias con actividades

exportadoras, que son las principales receptoras de IED, generando un proceso multiplicador en aquellas que no lo son de forma directa, como el comercio y los servicios (North, 1990).

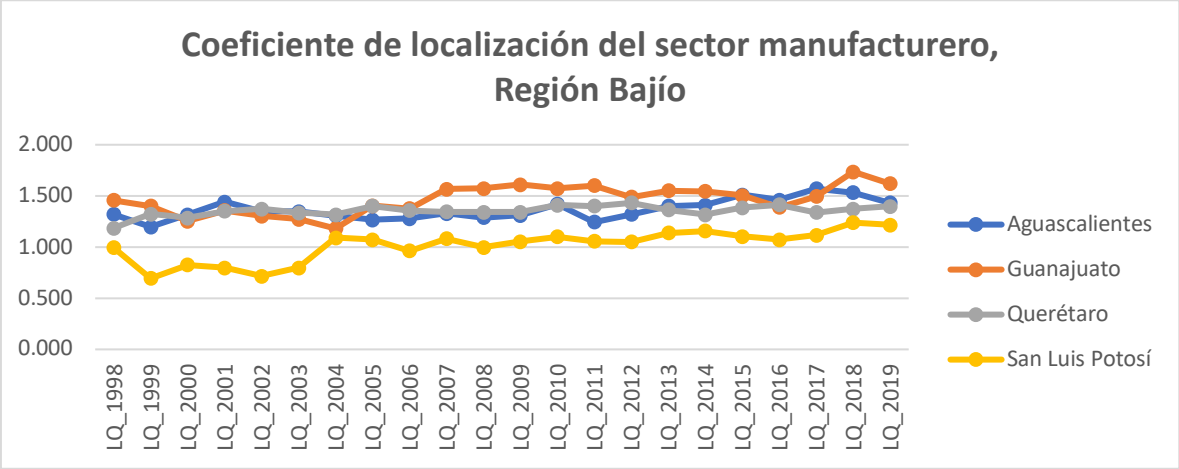
2.3 *Crecimiento y aglomeración industrial y redes institucionales como parte del desarrollo regional*

La industria contribuye a la formación del territorio, porque incentiva la ampliación del mercado local, tanto de bienes y servicios como el laboral. Además, genera relaciones institucionales con actores específicos dentro de un espacio geográfico delimitado. Así, este entorno institucional favorece la aglomeración industrial que demanda empleos con capacidades industriales específicas. Otros factores espaciales, como la infraestructura carretera y la alta conectividad geográfica de la región, benefician a los establecimientos en términos del costo de transporte y logística. Este escenario facilita los flujos intrarregionales de recursos, capital humano, bienes y servicios. A la vez, la capacidad gubernamental para dar seguimiento a los planes de crecimiento económico a largo plazo, junto con el crecimiento industrial en la región, podrían ser las causas de un círculo virtuoso por medio de las economías de aglomeración y localización, y el *spillover* que generan.

3. Caracterización económica de la Región del Bajío

El criterio para unificar estas cuatro entidades federativas como región de estudio tiene que ver con su proximidad geográfica y similitud en actividad económica, población e infraestructura que las interconecta. En la zona se unen factores de gobernanza local, actores privados y de la sociedad civil, y una configuración de instituciones locales y regionales (Capello, 2007). A continuación, se muestra la especialización industrial medida por el Coeficiente de Localización en la Región del Bajío.[1]

Gráfica 1. Coeficiente de Localización del sector manufacturero en la Región del Bajío

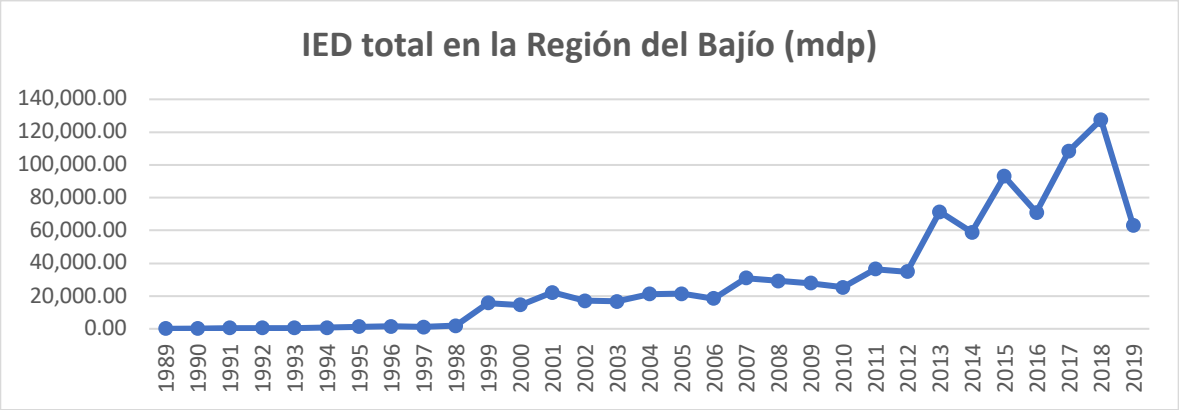


Fuente: elaboración propia con base en datos de Censos Económicos y Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo.

[1] Un mayor valor del Coeficiente de Localización (LQ) indica que la industria está más especializada.

La gráfica 2 muestra los flujos anuales de la IED y la gráfica 3 contiene la evolución de la región en indicadores institucionales.[2] La tabla 1 muestra que la conectividad del Bajío es favorable en tiempos de 1.5 horas promedio de traslado entre las principales ciudades y un peaje promedio de 315.50 pesos, considerando el uso de autopistas para el transporte de insumos y productos finales, a través del Corredor Logístico Industrial del Bajío (Moreno, 2015).

Gráfica 2. Comportamiento de la IED en la Región del Bajío



Fuente: elaboración propia con base en datos de la Secretaría de Economía.

[2] Adaptación de la metodología de City Prosperity Index de ONU-Hábitat. Valores más altos del Índice representan un mejor desempeño institucional.

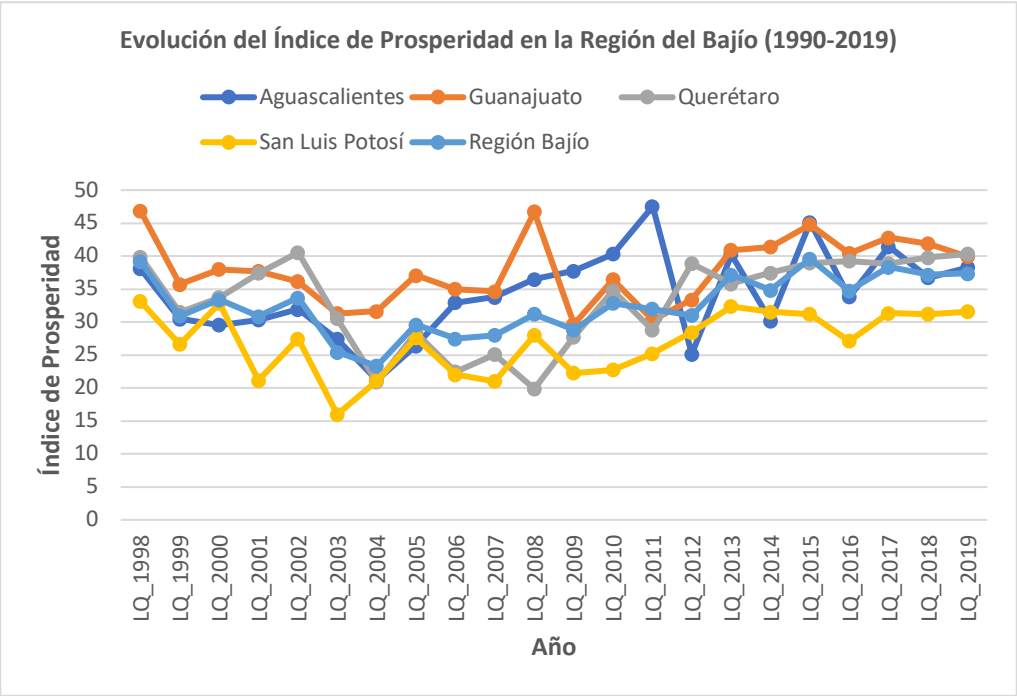
Tabla 1. Estimación de costos, distancia y tiempos de traslado en el Bajío

Estados	Ciudad origen	Ciudad destino	Tiempo estimado (min)	Distancia (km)	Costo de peaje promedio (pesos mxn)[3]
Aguascalientes - Guanajuato	Aguascalientes	León	61	112	702
Guanajuato	León	Guanajuato	47	62	86
Guanajuato	León	Silao	27	36	0
Guanajuato	León	Irapuato	51	71	0
Guanajuato	León	San Miguel de Allende	177	172	471
Guanajuato	León	Dolores Hidalgo C. I. N.	92	116	86
Guanajuato	León	Pénjamo	84	129	260
Guanajuato - Querétaro	León	Querétaro	103	171	919
Querétaro	Querétaro	San Juan del Río	30	51	0
Querétaro - San Luis Potosí	Querétaro	San Luis Potosí	126	204	0
San Luis Potosí	San Luis Potosí	Ciudad Valles	191	291	946
Promedio de la región			90	129	315.5

Fuente: elaboración propia con base en datos de Rutas Punto a Punto de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (recuperados en mayo de 2020).

[3] Considerando costo máximo por camiones de nueve ejes.

Gráfica 3. Evolución del Índice de Prosperidad en la Región del Bajío (1990-2019)



Fuente: elaboración propia con base en la metodología de ONU-Hábitat.

4. Metodología y resultados

El modelo empírico tiene como base la Teoría del Crecimiento Endógeno Regional y Crecimiento Económico Institucionalista, así como un componente de inversión extranjera directa. Toma en consideración principal los trabajos de Vargas y González (2018) para sumar el comportamiento institucional al crecimiento económico, y el trabajo de Díaz-Bautista (2006), que incluye el efecto de la IED a la par de las instituciones. Para obtener los datos, se consultaron los Censos Económicos, Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo, y Anuarios Estadísticos del Inegi; Secretaría de Economía; Secretaría de Comunicaciones y Transportes; ONU-Infonavit; Conapo; y Plataforma Nacional de Transparencia. El modelo de crecimiento económico para el periodo "i" en la región "j", se plantea en la siguiente ecuación en su forma extendida:[4]

Ecuación 1. Modelo extendido de crecimiento económico del Bajío (modelo 1)

$$PIBij = LQ_{ij} + CDj_{ij} + IED_{ij} + CPI_{ij} + e$$

Donde "e" representa el Coeficiente de Error en el modelo. Se considera extendido porque incluye todas las variables propuestas teóricamente. En la primera etapa, se estimó un modelo de regresión por mínimos cuadrados ordinarios (MCO), corrigiendo por heterocedasticidad a través de las pruebas de Huber-White. Se construyó también un

[4] Véase la descripción de cada variable del modelo en la sección de Anexos.

segundo modelo de errores robustos que toma en cuenta solamente las variables que explican significativamente el crecimiento económico regional del Bajío, de 1990 a 2019:

Ecuación 2. Modelo acotado de crecimiento económico del Bajío (modelo 2)

$$PIBij = LQ_{ij} + CDj_{ij} + IED_{ij} + e$$

La tabla 2 muestra los coeficientes de ambos modelos, los errores para cada variable y su nivel de significancia estadística.[5]

Tabla 2. Resultados del modelo de crecimiento económico en la Región del Bajío

Variables	*Modelo 1*	*Modelo 2*
Constante	-612 270.85 (381 332.59)	-621 304.00 (389 644.20)
LQ	1 295 258.97 * (689 318.32)	1 110 289.00* (302 301.10)
CDj	829 816.30** (325 205.56)	829 816.60** (407 658.00)
IED	5.38* (1.09)	5.84* (1.10)
CPI	1 077 139.65 (626 238.76)	-- --
R^2 ajustada	0.8808	0.8857
F-estadística	54.57 en 25 g.d.l	67.20 en 26 g.d.l.

Fuente: elaboración propia.

5. Discusión y conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, el Bajío tiene un alto nivel de especialización industrial, que le ha permitido aumentar su PIB regional en los últimos diez años, beneficiándose de una posible relocalización de la industria y la atracción de nuevas inversiones. Otra de las ventajas de la región en términos espaciales es su ubicación en el centro del país, entre las principales zonas metropolitanas y la cercanía entre sus ciudades principales, lo que le da una alta vinculación con el mercado nacional y fortalece sus cadenas de suministro mediante la diversificación industrial, que también ha influido de manera significativa en el PIB regional.

Además, la evidencia señala que algunos componentes cualitativos del desarrollo institucional tienen una tendencia de mejora cada año, sobre todo a partir de 2010. Esta mejora está en el Índice de Prosperidad en la Región que, aun cuando no fue significativo para el crecimiento económico regional en el periodo analizado, sí tiene potencial de serlo en los próximos años. Será, entonces, interesante que en estudios posteriores se explore con mayor profundidad la evolución de indicadores institucionales relacionados con la infraestructura, educación, seguridad y gobernanza, poniendo especial atención en construir nuevas variables de mayor alcance espacial y temporal. Así, un entorno institucional que continúe siendo propicio para la industria será la clave para que el Bajío se solidifique como una de las regiones con más crecimiento económico a nivel nacional y puedan aplicarse mejores

[5] Errores estándar en paréntesis. * = Significancia del 1 %; ** = Significancia del 5 %.

políticas públicas y económicas en otras zonas industriales del país mediante el fortalecimiento institucional.

6. Referencias[6]

Capello, R. (2007). *Regional Economics*. Routledge.

Díaz-Bautista, A. (2006). Un modelo de crecimiento económico, instituciones, integración económica e inversión extranjera directa de México con los Estados Unidos. *Convergencia, 13*(41), 117-139.

Estrada, J. L. (2000). Nuevos modelos de crecimiento endógeno en México. *An. Econ., 15*(32), 3-41. Recuperado el 10 de agosto de 2020, de https://www.researchgate.net/publication/26446534_Nuevos_modelos_de_crecimiento_endogeno_en_Mexico

Hoover, E., & Giarratani, F. (1984). *Una introducción a la economía regional*.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2014). Sistema Automatizado de Información Censal (SAIC): Censo Económico 2014 para los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí. Recuperado el 2 de julio de 2020, de https://www.inegi.org.mx/app/saic/

Krugman, P., & Venables, A. J. (1995). Globalization and the Inequality of Nations. *Quart. J. Econ., 110*(4), 857-880.

Mendoza, J. E., & Díaz-Bautista, A. (2006). *Economía regional moderna: teoría y práctica*. El Colegio de la Frontera Norte.

Moreno, T. (2015). Plan Maestro del Corredor Logístico Industrial Automotriz del Bajío. *Quivera*, 1. UAEM, 13-34.

Myrdal, G. (1986). *Teoría económica y regiones subdesarrolladas*. Fondo de Cultura Económica.

North, D. (1990). *Instituciones, cambio institucional y desempeño económico* (Trad.: FCE, 1993). Cambridge Press.

Secretaría de Economía (2020). Inversión extranjera directa por entidad federativa. Recuperado el 29 de agosto de 2020, de https://datos.gob.mx/busca/dataset/informacion-estadistica-de-la-inversion-extranjera-directa

Vargas, D., & González, J. (2018). El efecto de las instituciones en el crecimiento económico de América Latina. *Perf. Latin., 26*(51), 329-349. https://doi.org/10.18504/pl2651-013-2018

Vázquez Barquero, A. (2005). *Las nuevas fuerzas del desarrollo.*: Antoni Bosch Editor.

[6] Versión corta de referencias utilizadas para este documento. Para consultar el documento completo, la metodología empleada y las referencias en versión extendida, enviar un correo a la autora o asesora.

Anexos

Tabla 3. Descripción de variables para el modelo de crecimiento económico en la Región del Bajío

Nombre de la variable	Tipo de variable	Contenido de la variable	Relación esperada con la variable dependiente
PIB	Dependiente	PIB regional en millones de pesos a precios de 2013.	No aplica
LQ	Independiente	Índice de Especialización Industrial para la Región del Bajío, considerando el empleo total y del sector 31-33.	Positiva. Se espera que, a mayor especialización industrial en la región, exista un mayor crecimiento económico.
CDj	Independiente	Coeficiente de Diversificación Industrial para la Región del Bajío, considerando el empleo total y del sector 31-33.	Positiva. Se espera que una economía más diversificada ayude a la expansión del mercado local e internacional y genere *spillovers*.
IED	Independiente	Inversión extranjera directa en millones de pesos en la Región del Bajío.	Positiva. Se espera que, a mayor nivel de inversión extranjera directa, la región tenga un mayor crecimiento económico.
CPI	Independiente	Índice de Prosperidad de las Ciudades (CPI-ONU). Esta variable fue adaptada al agregado regional del Bajío y consideró aquellas variables de relevancia para el marco institucional según la disponibilidad de datos. En suma, la variable mide la evolución regional (considerando en su conjunto a los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y San Luis Potosí).	Positiva. Se espera que un valor más alto del Índice de Prosperidad tenga una incidencia positiva en el crecimiento económico.
e	Coeficiente de Error	Efectos no explicados por las variables independientes.	No aplica

Fuente: elaboración propia.

Análisis de la política fiscal y monetaria y su efecto en el mercado accionario de México

Autora: María Alejandra Gutiérrez Chávez
Coautora: Adriana Astorga Medrano
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Finanzas
Correo: al156782@alumnos.uacj.mx
Tutor: Dr. Sergio Ignacio Villalba Villalba

Resumen
En la presente investigación, se analiza la relación entre las variables macroeconómicas y su impacto en el precio de las acciones en México. El estudio toma en cuenta un modelo de valuación que permite la formulación de hipótesis y el modelo Arbitrage Pricing Theory (APT) para la creación de una ecuación econométrica, tomando en cuenta nueve variables macroeconómicas, seis pertenecientes a México: tipo de cambio (peso mexicano-dólar), gasto público, inflación, indicador global de la actividad económica (IGAE), tasa de interés y exportaciones; dos pertenecientes a Estados Unidos: producto interno bruto (PIB) estadounidense y tasa de interés, además de tomar en cuenta el indicador S&P 500, perteneciente al mercado bursátil estadounidense. Los periodos representativos del modelo son mensuales, de febrero de 1993 a marzo de 2020, con excepción del tipo de cambio, el cual es analizado de manera diaria. Finalmente, se determina si las variables son estadísticamente significativas respecto al Índice de Precios al Consumidor (IPC).

Palabras clave: variables macroeconómicas; IPC; precio de las acciones; política monetaria; política fiscal.

1. Introducción

El mercado accionario lo constituyen las acciones de empresas inversionistas mediante la colocación de títulos representativos de su capital (acciones), a través de la Bolsa Mexicana de Valores (BMV). Hay un futuro incierto para los inversionistas, ya que los movimientos de la Bolsa dependen de la política económica del país. Utilizando el modelo Arbitrage Pricing Theory (APT), la variable a explicar o variable dependiente está representada por el Índice de Precios y Cotizaciones (IPC) de la BMV, y las variables macroeconómicas o variables independientes están conformadas por el tipo de cambio peso mexicano-dólar, tasa de interés mexicana, tasa de interés estadounidense, inflación, exportaciones mexicanas, gasto público, producto interno bruto (PIB) estadounidense, Índice Global de Actividad Económica (IGAE), que es un indicador mensual del PIB de México, y el Índice S&P 500 de la Bolsa estadounidense. Tomando en cuenta que es importante ver el efecto que existe contemplando los instrumentos de la política monetaria y fiscal, es decir, las variables macroeconómicas que se consultaron con datos históricos mensuales de México y Estados Unidos, ya que estas, dependiendo de su cambio, pueden provocar volatilidad en los precios de las acciones mexicanas.

2. Justificación

La investigación plantea un modelo APT para la estimación del comportamiento del IPC de la BMV, por lo que se optó por este modelo debido a la robustez y las carencias que presenta el Modelo de Valoración de Activos Financieros (CAPM, por sus siglas en inglés). Por su propia naturaleza, al ser un modelo multivariado, permite incorporar diferentes variables macroeconómicas importantes y así poder medir su impacto en el IPC, el cual es un indicador del estado de la macroeconomía del país.

3. Metodología

Como definición de una política económica:

Representa el conjunto de normas y lineamientos con que el Estado regula y orienta la dinámica económica del país, además de establecer criterios que, acorde al Plan Nacional de Desarrollo, engloban el comportamiento de diversos ámbitos de la vida nacional y los instrumentos correspondientes para su operación, a través de las políticas fiscal, monetaria y exterior (Torres, & Rojas, 2015).

La política monetaria tiene su efecto en el medio circulante, en la creación de crédito del sistema bancario y en los instrumentos financieros que modifican la preferencia por la liquidez. "La política monetaria consiste en modificar las tasas de interés y la cantidad de dinero en la economía con el objetivo de mantener la inflación bajo control y usándola para suavizar las fluctuaciones del ciclo económico" (Parkin, 2010).

Por otro lado, la política fiscal tiene influencia sobre los ingresos, el consumo y la propensión a invertir utilizando como medio las modificaciones en los impuestos y el gasto público, lo que, a su vez, influye también en la preferencia por la liquidez, es decir, los instrumentos financieros.

> La política fiscal consiste en modificar las tasas de fiscales y los programas de gasto del gobierno, usando la política para tratar de estimular el crecimiento a largo plazo, creando incentivos que estimulen el ahorro, la inversión y el cambio tecnológico (Parkin, 2010).

Esta investigación está enfocada en el análisis de las variables macroeconómicas con mayor relevancia en el mercado accionario mexicano, por lo que se seleccionó un modelo econométrico de regresión lineal múltiple a fin de verificar las hipótesis establecidas.

El estudio es no-experimental, debido a que se realizará la valoración del IPC mediante la contribución del modelo Arbitrage Pricing Theory (APT), cuya finalidad está en demostrar cómo y en qué condiciones se puede pasar de un modelo de múltiples índices a una descripción de equilibrio; sin embargo, en esta ocasión se empleará el modelo para confirmar que las variables de la política económica influyen en el precio de las acciones de México. Elton *et al.* (2009) explican que en el modelo de Ross, se requiere que los rendimientos de cualquier acción estén relacionados linealmente con un conjunto de índices que pueden afectar el rendimiento de las acciones.

De tal manera que el modelo APT estará compuesto de la siguiente forma, donde se estima la tasa de rendimiento del IPC en relación con las variables exógenas, tal como se muestra en la ecuación 1:

$$IPC = \alpha + \beta_1 E + \beta_2 G + \beta_3 I + \beta_4 IGAE + \beta_5 R + \beta_6 X + \beta_7 SYP500 + \beta_8 YUSA + \cdots \beta_9 RUSA + \beta_{10} IPC_{t-1} + u \quad (1)$$

Donde: β = Sensibilidad del precio de las acciones ante un cambio en las variables exógenas; efectos marginales en el rendimiento del IPC.

Se utilizaron datos mensuales a partir del año 1993 a 2020 acerca de las variables exógenas de interés y a fin de interpretar de una manera más eficiente, se calculó la tasa de crecimiento anual de cada variable para realizar el modelo.

Las variables elegidas están dadas por: (E) Tipo de cambio; (G) Gasto público; (I) Inflación; (IGAE) Índice Global de Actividad Económica en México; (R) Tasa de interés de México; (X) Exportaciones mexicanas; (SYP) Índice S&P 500 de Estados Unidos; (YUSA) PIB de Estados Unidos; y (RUSA) Tasa de interés de Estados Unidos.

La información para este estudio fue recopilada de la base de datos del Banco de México (Banxico), del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) y de los Datos Económicos de la Reserva Federal (FRED, por sus siglas en inglés); además, la información histórica de los índices fue obtenida de Yahoo! Finance, que proporciona información y comentarios con enfoque en los mercados financieros.

4. Resultados

La estadística descriptiva se encuentra en la tabla 1 y se calculó con ayuda del programa EViews 11. Los resultados del modelo APT, se muestran en la tabla 2.

Tabla 1. Cálculos estadísticos

	E	G	I	IGAE	IPC	R	RUSA	SYP	X	YUSA
Media	7.027	12.828	7.094	2.346	14.864	1.849	14.409	7.977	8.845	-0.004
Mediana	3.313	11.380	-12.903	2.601	9.194	-4.609	-3.737	10.513	8.929	0.235
Maximo	105.257	46.003	3000.000	12.251	84.744	322.340	254.676	50.252	45.079	1.781
Minimo	-14.287	-6.037	-1500.000	-10.985	-40.698	-52.706	-86.679	-44.756	-35.729	-5.194
Desviacion Estandar	16.004	10.621	254.277	3.292	24.497	42.048	65.623	16.515	13.116	1.035
Suma	2058.991	3758.714	2078.648	687.483	4355.290	541.775	4221.848	2337.288	2591.536	-1.209
Suma Sq. Dev	74789.970	32939.190	18879850.000	3165.428	175236.600	516269.100	1257459.000	79638.980	50229.000	312.720

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Resultados del modelo APT

		E	G	I	IGAE	IPC (-1)	R	RUSA	SYP	X	YUSA
	2.18	0.076	-.124	.0003	-.0552	.829	-.085	-.006	.325	-.022	-.241
T		1.25*	-1.68*	0.15*	-2.23**	-24.39***	-2.98***	0.57*	6.09***	-0.32*	-0.22*
R^2 ajustado	0.84	* Nivel de confianza al 90 %									
Durbin-Watson	1.7	** Nivel de confianza al 95 %									
Akaike Criterio de Inf.	7.41	*** Nivel de confianza al 99 %									
Schwarz Criterio de Inf.	7.55										

Fuente: elaboración propia.

El resultado se traduce en lo siguiente:

• Cuando el tipo de cambio se deprecia en 10 % está asociado con un incremento de .76 % en el IPC. Sin embargo, cambios en la tasa de crecimiento del tipo de cambio no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de, al menos, 90 %.

• Un cambio de 10 % en el gasto público está asociado con una disminución de 1.24 % en el IPC y los cambios en esta variable son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de 90.74 %.

• Un cambio de 10 % en la inflación de México está asociado con un incremento de 0.0036 % en el IPC. Sin embargo, cambios en la tasa de crecimiento anual de la inflación no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de, al menos, 90 %.

• Un cambio de 10 % en el IGAE está asociado con una disminución de 5.52 % en el IPC y el IGAE es estadísticamente significativo para un nivel de confianza de 97.35 %.

• Un cambio de 10 % en la tasa de interés de México está asociado con una disminución de .85 % en el IPC y los cambios de crecimiento anual de la tasa de interés son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de 99.69 %.

• Un cambio de 10 % en la demanda de exportaciones de bienes y servicios de México está asociado con una disminución de .22 % en el IPC. Sin embargo, cambios en la tasa de crecimiento anual de las exportaciones no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de, al menos, 90 %.

• Un cambio de 10 % del Índice S&P 500 de Estados Unidos está asociado con un incremento de 3.25 % en el IPC y los cambios en la tasa de crecimiento anual del S&P 500 son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de 100 %.

• Un cambio de 10 % en el PIB de Estados Unidos está asociado con una disminución de 2.41 % en el IPC. Sin embargo, cambios en la tasa de crecimiento anual del PIB no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de, al menos, 90 %.

• Un cambio en la tasa de interés de Estados Unidos está asociado con un incremento de .06 % en el IPC. Sin embargo, cambios en la tasa de crecimiento anual de la tasa de interés de Estados Unidos no son estadísticamente significativos para un nivel de confianza de, al menos, 90 %.

• Para el IPC-1, se tomó en cuenta un cambio de 10 % en el IPC de hace 1 mes que está asociado con un incremento de 8.29 % en las inversiones; este cambio es estadísticamente significativo en 100 %.

• La prueba F = 158.94 % indica que todo el modelo en conjunto es estadísticamente significativo.

• R ajustado = 84.39 % indica el nivel de predicción del modelo.

• Estadístico *t* demuestra el nivel de significancia individual de las variables que influyen en el IPC.

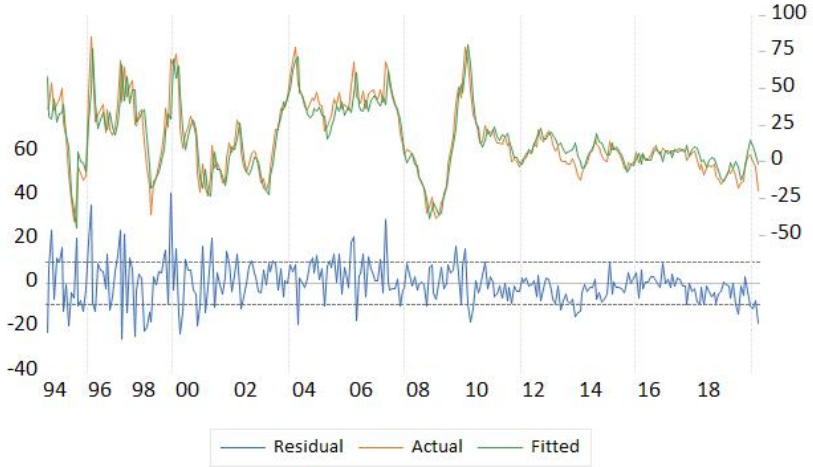
• El indicador de Durbin-Watson se encuentra en un valor de 1.70, lo cual está en el rango donde se rechaza la hipótesis de que existe una autocorrelación en los términos de error; es decir, las varianzas de los estimadores son de varianza mínima y las funciones de distribución probabilística de los estimadores están siendo propiamente estimadas, lo que, a su vez, implica las pruebas *t* de cada uno de los coeficientes que tienen que ver con los cambios en las variables. Adicionalmente, el valor Durbin-Watson de 1.70 sugiere la función de distribución probabilística para la prueba de que todos los betas son diferentes de cero ($\beta \neq 0$). *Explicado de otra manera*: la prueba de significancia del modelo global equivale a la prueba de que todas las variables en conjunto ayudan a explicar las variaciones del IPC que también son válidas; es decir, tanto la prueba *t* de significancia estadística individual como la prueba F de significancia estadística global que identifica al modelo serían válidas, ya que las funciones de distribución probabilística de estos estimadores están siendo propiamente identificadas, pues el modelo sugiere que no hay problema de autocorrelación.

• El criterio de información Akaike tiene un valor de 7.41 y el criterio Schwarz uno de 7.55; ambos analizan la capacidad explicativa del modelo, de manera que el criterio es elegir entre un grupo de modelos aquel en el que ambos sean menores a los de otros.

Entonces, las variables más importantes o significativas para el IPC son: gasto público, IGAE, tasa de interés de México e Índice S&P 500 de Estados Unidos.

En la gráfica 1 el valor observado del IPC está dado por la línea roja, el pronóstico o predicción es la línea verde y el residual es la línea azul, que representa el diferencial de lo observado y la predicción.

Gráfica 1. Valor actual, predicción y diferencial del IPC



Fuente: elaboración propia con base en datos del Inegi.

5. Conclusión

Los resultados del modelo indican que no se acepta H_0, de manera que, efectivamente, existe causalidad entre la política fiscal y la política monetaria en el mercado accionario mexicano, tomando en cuenta las variables macroeconómicas de México y Estados Unidos.

Analizando las variables, el tipo de cambio no es de gran relevancia, pues es un indicador que, al depreciarse, ayuda a las empresas exportadoras de México a obtener más ganancias, lo cual es benéfico para el mercado accionario del país, pero aun beneficiando a las exportaciones, estas últimas han afectado al IPC negativamente con su mala racha en los últimos años.

Teóricamente el gasto público demuestra un efecto positivo en el IPC; sin embargo, el análisis empírico mostró evidencia de tener un efecto negativo, de tal forma que se concluye que un mayor gasto público en México está negativamente asociado con los rendimientos de los precios de las acciones; es decir, un mayor gasto público incrementa el bienestar hoy, pero penaliza el ahorro, la inversión y, por tanto, el crecimiento económico futuro, lo que limita o reduce las capacidades de generar ingreso en el futuro de las empresas; lo cual explica que un mayor gasto público demuestra, en términos empíricos, un menor rendimiento de los precios de las acciones.

Por su parte, la inflación hace que ocurra un incremento en el IPC, pero no es un factor relevante para que esto suceda, pues se deduce que el impacto de la inflación en el IPC ocurre con mayor intensidad cuando está relacionada con la tasa de interés; por ende, la tasa de interés de México es la variable con mayor influencia en el IPC.

El IGAE es relevante para el IPC, debido a que México es un país en vías de desarrollo y, a pesar de que se ha mantenido un nivel de crecimiento, no es suficiente para beneficiar al IPC. Teóricamente existe una relación directa entre el crecimiento económico y el IPC; sin embargo, al igual que en el gasto público, el análisis empírico demuestra un efecto negativo, lo que se debe a la situación económica actual del país y al sesgo existente en los datos del último año.

Las exportaciones de México no son estadísticamente significativas; sin embargo, son importantes para el mercado accionario, debido al impacto que tienen en las ganancias de las empresas, de manera que su efecto en el crecimiento económico es el que influye de mayor manera en el IPC.

El Índice S&P 500, como se mencionó anteriormente, puede ser pronosticado con variables macroeconómicas, por lo que es estadísticamente significativo para el pronóstico del IPC, debido a las similitudes en los modelos de predicción. Por otro lado, tenemos que el S&P 500 está compuesto por las empresas líderes de los sectores líderes de Estados Unidos; por consiguiente, se ve influenciado por el PIB estadounidense.

El PIB de Estados Unidos, al igual que la inflación y las exportaciones mexicanas, tiene su impacto en el IPC a través de otras variables; el nivel de significancia del PIB estadounidense en el IPC es menor al del Índice S&P 500.

La tasa de interés de Estados Unidos tiene un impacto positivo en el IPC y es una variable estadísticamente significativa, de manera que en ciertos periodos el tener la tasa de interés estadounidense baja beneficia a México, al ser más atractiva la tasa de interés de este.

Finalmente, podemos destacar que la política fiscal y la política monetaria de México son de suma importancia para el mercado accionario, pues los cambios de los instrumentos de estas son variables decisivas para el crecimiento económico mexicano, cuyo impacto se ve reflejado en las empresas que cotizan en la Bolsa y en los inversionistas. De igual manera, al existir una dependencia México-Estados Unidos, las variables estadounidenses, así como el Índice S&P 500, tienen un impacto en el IPC.

Referencias

Elton, E. J., Gruber, M. J., Brown, S. J., & Goetzmann, W. N. (2009). *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*. John Wiley & Sons.

Parkin, M. (2010). *Fundamentos de teoría económica*. Pearson Educación.

Torres, F., & Rojas, A. (2015). Política económica y política social en México: desequilibrio y saldos. *Probl. Des., 46*(182), 41-66.

Base de datos

Banco de México. Ingresos y gastos presupuestales del gobierno federal. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=9&accion=consultarCuadro&idCuadro=CG2&locale=es#contenidoPrincipal

-----. Serie histórica diaria del tipo de cambio peso-dólar. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=6&accion=consultarCuadro&idCuadro=CF373&locale=es

----- (2011). Índice Nacional de Precios al Consumidor. Inflación. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=8&accion=consultarCuadro&idCuadro=CP151&locale=es

-----. Exportaciones totales de México. https://www.banxico.org.mx/SieInternet/consultarDirectorioInternetAction.do?sector=1&accion=consultarCuadro&idCuadro=CE37&locale=es

-----. Cetes 364 días. Tasa de rendimiento promedio mensual. https://www.banxico.org.mx/Indicadores/consulta/Instrumentos.action

Federal Reserve Economic Data. Leading Indicators OECD: Reference series: Gross Domestic Product (GDP): Normalised for the United States. https://fred.stlouisfed.org/series/USALORSGPNOSTSAM

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi) (2013). Indicador Global de la Actividad Económica. https://www.inegi.org.mx/temas/igae/default.html#Tabulados

Macrotrends. Tasa del Tesoro a 1 año. https://www.macrotrends.net/2492/1-year-treasury-rate-yield chart?fbclid=IwAR0mX8xJWZQfs4Z6Yqr9ufPw6UgSCvIiBAuHu4iyAb4mps8XlXHVQpp5Qqo

Mecanismos de implementación de políticas públicas con enfoque en derechos humanos. Estudio comparativo entre Brasil y Bolivia

Autora: Carolina Montserrat Montalvo del Valle
El Colegio de la Frontera Norte
Programa: Maestría en Acción Pública y Desarrollo Social
Correo: cmontalvo.mapds2020@colef.mx
Directora de tesis: Dra. María Artemisa López León

Resumen
Este proyecto de investigación tiene como objetivo analizar la negociación y voluntad política en los mecanismos de implementación de políticas públicas con enfoque en derechos humanos, a través de un estudio comparativo entre dos casos en Brasil y Bolivia. Surge el interés en investigar la efectividad de las políticas públicas como medida de no-repetición de la vulneración de derechos humanos y se hace a través de un análisis que abarca desde el contexto de la vulneración en las localidades hasta los mecanismos de implementación de políticas públicas. Los casos de estudio remiten a derechos específicos de la niñez y de la mujer en cuanto a acceso y garantía a la justicia; se tomaron como base las soluciones amistosas de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos. Este estudio comparativo es de tipo explicativo con un diseño documental y de trabajo de campo de corte cualitativo, principalmente basado en entrevistas semiestructuradas a actores clave.

Palabras clave: negociación política; voluntad política; medidas de no-repetición; derechos de la mujer y la niñez; América Latina.

1. Introducción

El objetivo general de este proyecto de investigación es analizar los mecanismos de implementación de políticas públicas con enfoque en derechos humanos, para indagar la negociación y la voluntad política en los distintos niveles gubernamentales, a través de un estudio comparativo entre los gobiernos de Brasil y Bolivia. Se busca investigar, en materia de derechos humanos, cómo las medidas internacionales aterrizan en lo local; para ello, los casos se consideraron basándose en las resoluciones de solución amistosa de la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH), que son procesos, de carácter voluntario, que emergen del sistema de peticiones y casos individuales, y que permiten a las partes dialogar y acordar con el Estado los términos de restitución y reparación de derechos humanos y medidas de no-repetición, a través de acuerdos que incluyen reformas legislativas, adopción de políticas públicas y capacitación de funcionarios estatales (OEA, 2017).

Los dos casos que se propone analizar son: los niños castrados de Marañón en Brasil, que fue una resolución que se inició en 2001 y se resolvió en 2006; y el caso de la sobreviviente "M. Z." sobre derechos de las mujeres en Cochabamba, Bolivia, que se inició en 2004 y se resolvió en 2014; ambos casos son considerados exitosos por la CIDH y emergen del análisis que se hizo de los informes de seguimiento de la propia Comisión.

Para este análisis comparativo de tipo explicativo y que se basa en una metodología cualitativa de tipo documental y con trabajo de campo basado principalmente en entrevistas, se propone hacer el estudio en dos fases: en la primera, se realizará la recopilación documental de la normativa nacional e internacional, la llamada agenda institucional, que son los planes y programas, y las políticas públicas implementadas en cada país, a través de un mecanismo de solución amistosa por parte de los distintos niveles de gobierno en Brasil y Bolivia. En la segunda fase, se propone hacer entrevistas semiestructuradas con actores clave.

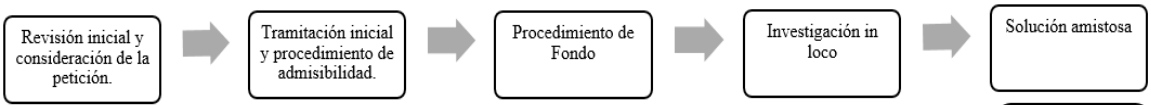
La conjunción de estas metodologías permitirá comparar la influencia de la negociación y la voluntad política en los mecanismos de implementación de las políticas públicas con enfoque en derechos humanos y su efectividad como medida de no-repetición en los casos de Brasil y Bolivia.

2. Desarrollo

De las soluciones amistosas a las políticas públicas con enfoque en derechos humanos

La CIDH está encargada de promover la observancia y la defensa de los derechos humanos y ser el órgano consultivo de la Organización de los Estados Americanos (OEA) en la materia; por ende, "su trabajo se basa en tres pilares: el sistema de petición individual, el monitoreo de la situación de los derechos humanos en los Estados Miembros y la atención a líneas temáticas prioritarias" (OEA, 2017). Dentro del sistema de peticiones y casos individuales, se especifica el mecanismo de las "soluciones amistosas", cuyo proceso se demuestra en la figura 1.

Figura 1. Procedimiento del mecanismo de soluciones amistosas



Fuente: elaboración y adaptación propia con base en la CIDH (2013).

Según la CIDH, de 1985 a 2021 se han procesado 186 casos de solución amistosa. Del seguimiento existente hasta 2018, 10 han sido resueltos y se ha incluido la adopción de políticas públicas como medida de no-repetición (tabla 1).

Tabla 1. Resoluciones de la CIDH donde se dictaminaron medidas de no-repetición (1985-2018)

Caso	País	Año de denuncia	Año de solución	Año de resolución	Materia de derechos humanos	Dictamen	Nivel de cumplimiento
Informe N° 95/03 José Pereira	Brasil	1994	2003	2003	Derechos laborales	Cambios legislativos e institucionales; campañas y seminarios de sensibilización	Parcial
Informe N° 32/12 pueblo Yanomami de Haximú	Venezuela	1996	2008	2012	Derecho a la propiedad privada, a la igualdad ante la ley y a la protección judicial	Planes y programas; rediseño de presupuestos	Parcial
Informe N° 3/20 Mariela Barreto	Perú	1998	2001	2020	Derecho a la vida y a la integridad personal	Revisión judicial de casos; medidas administrativas del debido proceso; reestructura del sistema judicial	Parcial
Informe N° 12350 M. Z.	Bolivia	2000	2008	2014	Derecho a la protección judicial para prevenir, sancionar y erradicar la violencia contra la mujer	Reformas legislativas; creación de instituciones legales; creación de infraestructura para denuncia; capacitación a funcionarios; campañas informativas de género	Total
Informe N° 43/06 Niños castrados de Marañón	Brasil	2001	2005	2006	Derecho a la protección judicial del niño	Reformas legislativas; adopción de programas; creación de instituciones; reformas en educación; capacitación	Total
Caso 12.473 Jesús Manuel Jubilados	Venezuela	2001	2005	2013	Derecho a la propiedad privada y a la protección judicial	Reformas legislativas; adopción de programas; capacitación	Parcial
Informe N° 30/04 Mercedes Julia Huenteao y otras	Chile	2002	2003	2004	Derechos de las comunidades indígenas, pueblos y nacionalidades	Reformas legislativas; reformas en estructuras institucionales; planes y programas de desarrollo	Parcial
Informe N° 36/17 Ricardo y familia	Argentina	2002	2012	2017	Derecho a la libertad de expresión	Capacitación; reformas legislativas; reformas de estructura para alojamientos transitorios	Parcial
Informe N° 61/13 Karina Montene	Ecuador	2003-2005	2008	2013	Derechos de la mujer a la protección judicial	Capacitación; creación de instituciones; adopción de programas para	Parcial

gro y otras						atención médica a embarazas PPL	
Informe N° 15/16 1171/09 Chiapas	México	2009	2014	2016	Derechos del niño	Capacitación; reformas de estructura a organizaciones de derechos humanos	Parcial

Como se aprecia en la tabla 1, se destacan dos casos por el cumplimiento en su totalidad. Según la CIDH son exitosos: los niños castrados de Marañón (Brasil) y el caso de la sobreviviente de violencia "M. Z.", de Cochabamba (Bolivia).

Referente al caso de los niños castrados de Marañón, organizaciones no gubernamentales presentaron una petición a la CIDH contra Brasil, en la que denunciaron los homicidios de tres infantes, relataron la desaparición de estos y el hecho de que sus cuerpos fueron encontrados con marcas de tortura y castración en los órganos genitales. Las peticionarias denunciaron el no-cumplimiento del debido proceso por parte del estado brasilero para la investigación (CIDH, 2006).

Brasil reconoció su responsabilidad internacional y, además, se comprometió a cumplir catorce medidas de no-repetición: 1) Incluir al estado de Marañón en programas de lucha contra la violencia sexual contra niños y adolescentes; 2) Dar continuidad a la implementación de sistemas de acción interinstitucional; 3) Incluir programas de capacitación para atender a niños y adolescentes víctimas de violencia sexual; 4) Dar cursos de capacitación a policías, civiles y militares para la atención de crímenes que afecten a niños y adolescentes; 5) Incluir el tema de la violencia contra niños y adolescentes en el plan de estudios para policías, civiles y militares; 6) Reglamentar y adoptar procedimientos especiales de atención a niños y adolescentes; 7) Reglamentar la derivación de casos de mayor complejidad; 8) Reestructurar y equipar a las delegaciones policiales de la localidad; 9) Inaugurar y mantener los centros de pericias oficiales para casos de violencia sexual perpetrada contra niños y adolescentes; 10) Mejorar la atención escolar destinada a los niños y adolescentes viabilizando actividades deportivas y culturales; 11) Articular con la Unión Nacional de los Dirigentes Municipales de Educación (Undime) para viabilizar actividades culturales y deportivas en las escuelas de los municipios de la Gran São Luís; 12) Construir una escuela de enseñanza media en la zona de Maiobinha, en Paço do Lumiar; 13) Construir una escuela de enseñanza media en el barrio Ciudad Operária, en São Luís; y 14) Incrementar la asistencia jurídica (CIDH, 2017).

Por otro lado, para el caso de la sobreviviente de violencia "M. Z." en Bolivia, la CIDH recibió una denuncia presentada por la Oficina Jurídica para la Mujer, el Comité Latinoamericano y del Caribe para la Defensa de los Derechos de la Mujer y el Centro por la Justicia y el Derecho Internacional, contra Bolivia, en la cual se demandó la responsabilidad internacional del Estado por violaciones a los derechos de la mujer "M. Z.", quien fue víctima de una violación sexual en su residencia por parte del hijo de su arrendadora. Después de reiteradas sentencias fallidas a nivel nacional, las peticionarias afirman que la condición de mujer de la sobreviviente implicó ser sometida a un proceso judicial discriminatorio, basado en estereotipos prejudiciales, que no tuvo en cuenta el respeto al debido proceso y a la protección judicial (CIDH, 2014).

El Estado boliviano se comprometió a implementar ocho medidas de no-repetición: 1) Programas pedagógicos enfocados en la promoción y protección de los derechos humanos con enfoque de género; 2) Incluir procesos evaluativos de los jueces con "grado de conocimiento en derechos humanos, vinculadas con la discriminación de género"; 3) Difusión en la página oficial de los candidatos seleccionados para garantizar la máxima publicidad; 4) Conferencia destinada a funcionarios judiciales sobre los derechos de las mujeres; 5) Campaña de concientización de los derechos de las mujeres; 6) Unidades especializadas para la atención de víctimas de violencia sexual; 7) La Unidad Especial será para desarrollar los estudios científico-técnicos requeridos para

la investigación de los delitos a la libertad sexual; y 8) Ajustes a los espacios físicos en los que las víctimas declaran para garantizar su privacidad (CIDH, 2017).

Con lo anterior se puede apreciar que las medidas son concretas, como creación de unidades especializadas, difusión de información, capacitación a funcionarios, reformas legislativas y adopción de planes y programas para el desarrollo enfocados en la materia de derechos denunciados; además, todas las medidas se implementan en el ámbito local, específicamente en el estado de Marañón y el municipio de Cochabamba.

La presente investigación basa su estudio desde la Teoría de las Ciencias Políticas desde tres perspectivas: políticas públicas con enfoque en derechos humanos, sociología política e institucionalidad de las políticas públicas en la región.

El análisis que se propone en este proyecto de investigación es el estudio de los mecanismos de implementación de las políticas públicas con enfoque en derechos humanos y su efectividad como medida de no-repetición, como se expuso anteriormente, y, además, como se precisó a nivel teórico, se consideran las observables de la negociación y voluntad política en los mecanismos de implementación. Esas observables, cabe destacar, son ejes centrales en la indagatoria que se llevará a cabo en este estudio de tipo comparativo y explicativo.

Como se ha mencionado en la introducción, la investigación se encuentra dividida en dos fases: la primera, con base en la recopilación documental, y la segunda fase, con base en las entrevistas semiestructuradas a actores clave en Brasil y Bolivia. De esta manera, se busca analizar la negociación y la voluntad política en los mecanismos de implementación de las políticas públicas con enfoque en derechos humanos y su efectividad como medida de no-repetición.

Se parte del análisis de las acciones concretas en cada caso para revisar los indicadores estructurales, procesos y resultados, a través de la recopilación documental de la normativa nacional e internacional, la llamada agenda institucional que son los planes y programas, y las políticas públicas implementadas. En la segunda fase, se propone hacer entrevistas semiestructuradas con actores clave con características de interés especial.

El tipo de muestreo es teórico, debido a que se efectúa la selección de perfiles según su cargo de responsabilidad, como actores, intereses, representaciones, categorías, lógica e instituciones a las que pertenecen. Se considera como actores clave en el proceso a activistas, funcionarios públicos, periodistas, académicos, sociedad civil; así, se utiliza la técnica de bola de nieve, que consiste en que cada actor clave guiará a contactos idóneos para el levantamiento de la información.

Para ello, se opta por un diseño comparativo en cada fase en donde se busca analizar las siguientes dimensiones: problema público; obligaciones estatales; obligaciones de deberes de verdad, justicia y reparación; elementos esenciales; principios de aplicación; principios transversales; e indicadores (estructurales, proceso y resultados) (Berrios Navarro, & Zapata Carmona, 2017).

Las entrevistas semiestructuradas se basan en cuatro lineamientos haciendo referencias a las dimensiones detalladas previamente: a) Contexto histórico; b) Rol que juegan las instituciones en los mecanismos de implementación en la localidad; c) Participación en el proceso político y equidad en la implementación de políticas públicas con enfoque en derechos humanos; y d) Resultados en la implementación de políticas públicas con enfoque en derechos humanos.

3. Conclusiones

La CIDH, encargada de promover la observancia y la defensa de los derechos humanos a nivel interamericano, realiza sus propias metodologías para medir la efectividad del acceso y garantía de los derechos. Sin embargo, muchas veces el contexto de la localidad no se toma a consideración en las recomendaciones; además, como lo señala Lynn Morgan (1990), desde lo internacional se atribuye la falta de voluntad política nacional como causa del incumplimiento de las

recomendaciones o medidas, sin tomar en cuenta otros aspectos. Sin embargo, esto debe valorarse en un análisis a nivel local, como el que se propone en este protocolo.

El estudio que se plantea basa su análisis en los casos de los niños castrados de Marañón en Brasil y la sobreviviente "M. Z." en Bolivia, que la CIDH considera exitosos, como ya se comentaba. Con este análisis, se busca aterrizar la información internacional en la localidad y conocer, desde la base, las circunstancias acontecidas para determinar si las políticas públicas han sido efectivas como medidas de no-repetición de vulneración de los derechos humanos.

El objetivo de la investigación se basa a nivel local y con una temporalidad que viene dada por la propia resolución de la CIDH. Para el caso de Bolivia, se enfocará en el municipio de Cochabamba y los horizontes temporales de la investigación se definen del año 2000 a 2014; para el caso de Brasil, específicamente en la localidad del estado de Marañón, desde el año 2001 hasta 2008.

Para un análisis del aterrizaje, en lo local, de las medidas internacionales en materia de derechos humanos, como el que se propone en este protocolo, es importante entender las condiciones estructurales de la violación de los derechos de protección a la niñez en Brasil y los derechos de la mujer en Bolivia; por ello, se estudia el contexto histórico, social y político para determinar la situación de los respectivos gobiernos en la materia y la existencia de acciones del gobierno en restituir los derechos a través de políticas públicas, más allá de los dictámenes dados por la CIDH. Así, se pretende entender qué es lo que hace surgir esta problemática estructural y si está resuelta.

Asimismo, en el análisis de los mecanismos de implementación de políticas públicas de derechos humanos es fundamental considerar la negociación y la voluntad política en los distintos niveles gubernamentales en cada país, para conocer las relaciones de fuerza del mecanismo para la toma de decisiones, entendiendo esta etapa como el origen de la efectividad de las políticas públicas como medidas de no-repetición.

Además, surge interés al ser un tema poco estudiado, porque el abordaje de políticas públicas con enfoque en derechos humanos es una propuesta relativamente reciente y que, cabe destacar, se analiza tomando en cuenta los derechos humanos como marco axiológico de las políticas públicas; es decir, no existe una teoría única definida; esto lleva a que su análisis comprometa más elementos que los conocidos en las teorías de las políticas públicas. Por lo tanto, el abordaje del análisis de los mecanismos de implementación es un estudio innovador, entendiendo que se analiza desde la perspectiva de nuevos parámetros y de medir el aterrizaje de lo internacional a lo local en materia de derechos humanos.

Con base en lo anterior, en esta investigación se ha planteado la siguiente pregunta general de la investigación: ¿cómo influyen la negociación y la voluntad política en los mecanismos de implementación de las políticas públicas con enfoque en derechos humanos para su efectividad como medida de no-repetición en los países de Brasil y Bolivia? Por lo tanto, se tiene como hipótesis la siguiente afirmación: la efectividad que tiene la política pública con enfoque en derechos humanos, como medida de no-repetición, depende, en cada país, de la negociación y la voluntad política que surgen en los mecanismos de implementación dentro de los distintos niveles gubernamentales.

4. Referencias

Bayardo Pérez Arce, A. (2019). Propuesta metodológica para valorar políticas públicas desde la perspectiva de los derechos humanos. *Est. Cult. Contemp., XXV*(5), 183-207.

Berrios Navarro, P., & Zapata Carmona, L. (2017). Pistas metodológicas para el monitoreo de políticas públicas con enfoque de derechos humanos. *Metodologías*, julio-diciembre, 14-26.

Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) (2006). Informe N° 43/06 Casos 12.426 y 12.427 Solución amistosa. Niños capados de Marañón, Brasil. Organización de los Estados

Americanos (OEA). http://www.cidh.oas.org/annualrep/2006sp/Brasil12426sp.htm

----- (2014). Informe N° 103/14 Caso 12.350 Informe de solución amistosa M. Z. Bolivia. OEA. http://www.oea.org/es/cidh/decisiones/2014/BOSA12350ES.pdf

----- (2017). Ficha técnica informativa Caso 12.350 M. Z. Informe de solución amistosa N° 103/14 Cumplimiento total Bolivia. OEA. https://www.oas.org/es/cidh/soluciones_amistosas/FT/2019/ft_sa_bol_case_12.350_spa.pdf

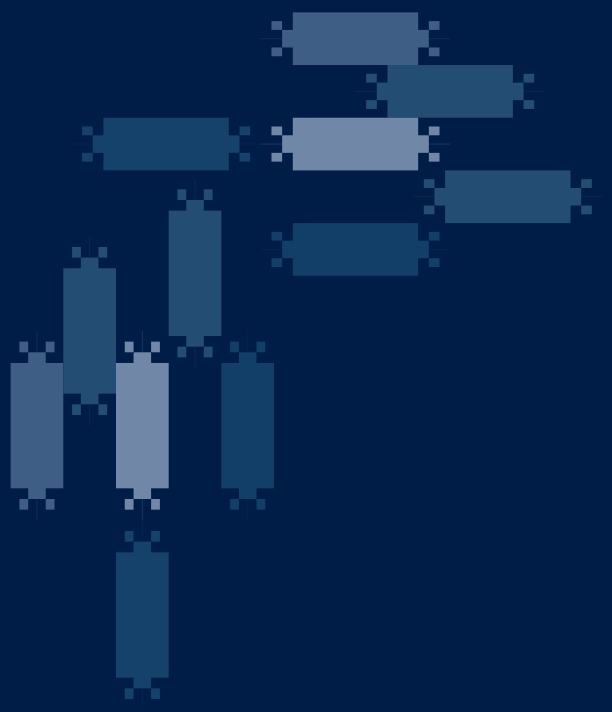
----- (2017). Ficha técnica informativa Caso 12.426 y Caso 12.427 Niños capados de Marañón. Informe de solución amistosa N° 43/06 Cumplimiento total Brasil. OEA. https://www.oas.org/es/cidh/soluciones_amistosas/FT/2019/FT_SA_BRA_Case_12.426_SPA.PDF

Morgan, L. (1990). La voluntad política y la participación de la comunidad en la atención de la salud primaria en Costa Rica. *Rev. Centr.Admin. Púb.*, 5-23.

Organización de los Estados Americanos (OEA) (2017). Plan Estratégico 2017-2021. OEA. http://www.oas.org/es/cidh/mandato/PlanEstrategico2017/docs/PlanEstrategico-2017-2021.pdf

ÁREA VI.

BIOTECNOLOGÍAS Y CIENCIAS AGROPECUARIAS



Expresión del gen SLC2A1 en células somáticas de leche de ovejas prolíficas Pelibuey

Autora: Ruth Lizbeth Armendáriz Rivas
Coautores: Felipe Alonso Rodríguez Almeida/Monserrath Félix Portillo
Universidad Autónoma de Chihuahua
Programa: Licenciatura en Ingeniería Zootecnista en Sistemas de Producción
Correo: a320119@uach.mx
Tutor: José Alfredo Martínez Quintana

Resumen
El peso al nacimiento (PN) y la habilidad materna son factores importantes en el desarrollo posnatal de los corderos. La expresión del gen SLC2A1 está relacionada con el rendimiento en leche. El objetivo fue medir la expresión de SLC2A1 en células somáticas de leche (CSL) de ovejas Pelibuey con parto doble. De borregas saludables: tres jóvenes (≤ 3 años) y seis grandes (≥ 5 años), se cuantificó mARN SLC2A1 por qPCR, se registró el PN y el peso al destete (GND) de sus corderos, calculando la ganancia del PN al GND. Aunque no hubo diferencia estadística ($p > 0.05$) en el PN y el GND por edad, la expresión de SLC2A fue 2.3 veces mayor ($p = 0.02$) en CSL de ovejas primíparas que en las multíparas. Se concluye que en las ovejas jóvenes puede existir un mecanismo compensatorio que, aun con un menor volumen de ubre, permita producir más leche para alimentar a sus corderos.

Palabras clave: gen SLC2A1; producción de leche; ovejas Pelibuey; prolificidad.

Introducción

La importancia de los ovinos radica en su alto potencial productivo y reproductivo, debido a la eficiencia de utilización y aprovechamiento de recursos ecosistémicos que otras especies no emplean (Cardona Tobar, López Álvarez, & Álvarez Franco, 2020). La evolución y la selección artificial de animales ha permitido la aparición de más de mil razas ovinas (Scherf, & Pilling, 2015). Las razas de pelo son ampliamente utilizadas en México para la producción de carne, como Blackbelly, Katahdin y Pelibuey (Cardona Tobar *et al.*, 2020). La raza Pelibuey es popular por su casi nula estacionalidad, buena rusticidad, prolificidad y alta tolerancia a parásitos (Aguilar-Martínez *et al.*, 2017).

La productividad de la borrega está determinada por los kilogramos de cordero destetado, variable que, a su vez, está en función del número de corderos nacidos, peso al nacimiento (PN), peso al destete (GND) y mortalidad predestete (García-Chávez *et al.*, 2020). De esta manera, la prolificidad es una característica clave que controla la eficiencia productiva de un sistema de producción ovino (Gootwine, 2020) y que se relaciona con la tasa ovulatoria, fertilidad y fecundidad (Notter, 2008). Notter (2008) menciona que se han

descubierto polimorfismos en genes de efecto mayor que permiten una alta respuesta a la selección de animales por su prolificidad. La variante $FECG^E$ asociada con la prolificidad en ovejas de pelo fue descubierta en ovejas Santa Inés por Silva *et al.* (2011). Más tarde, se comprobó que esa variante también se segrega en animales de la raza Pelibuey en México (Pérez-Ruiz *et al.*, 2020; Vargas, 2015).

Para capitalizar todos los avances que se han logrado en la mejora de la prolificidad en ovejas, es necesario asegurar la sobrevivencia de los corderos nacidos de estos partos múltiples (Notter, 2008). Parte de esto depende en gran medida de la capacidad uterina de la oveja (Gootwine, 2020). Por otro lado, la producción de leche de la oveja es un factor crucial, ya que durante los primeros días de vida del cordero su alimentación es exclusivamente a base de leche, que es producida por la glándula mamaria y su calidad y cantidad deberá suplir las necesidades del neonato (Silanikove *et al.*, 2018).

Chay-Canul *et al.* (2020) reportan que las ovejas Pelibuey en condiciones de trópico húmedo producen 1.44 ± 0.05 kg de leche al día, la cual contiene 6.0 ± 0.21, 5.0 ± 0.31 y 4.9 ± 0.04 % de grasa, proteína y lactosa, respectivamente. Además, sugieren que esta característica sea tomada en cuenta para la selección de animales en busca de mejorar la productividad. En los animales lactantes, la glucosa es el principal precursor de la lactosa y es sustrato para la síntesis de proteínas y grasas de la leche en las células epiteliales de la glándula mamaria, por lo que la captación eficiente de glucosa se considera un índice importante del inicio de una abundante secreción de leche (Zhao, 2014).

La glucosa entra a la célula ayudada por proteínas transportadoras. Al medir la expresión de diferentes genes que codifican proteínas transportadoras de glucosa en la glándula mamaria de vacas lactantes, se encontró que GLUT1 codificada por el gen SLC2A1 es la que se expresa con mayor abundancia (Bentley *et al.*, 2012) no solo en la membrana plasmática, sino también en la membrana del aparato de Golgi, sitio de la síntesis de lactosa (Zhao, 2014).

Dado que la cantidad de lactosa en la leche dicta el volumen de la producción, investigar la expresión de SLC2A1 y su regulación en la glándula mamaria de hembras lactantes generará información útil para la selección de animales y mejora de la productividad. El objetivo de esta investigación fue medir la expresión del gen SLC2A1 en células somáticas de leche de ovejas prolíficas Pelibuey y su relación con la ganancia de peso de los corderos.

Desarrollo

Justificación

La ovinocultura es una actividad económica y socialmente importante. Los grandes avances que se han tenido en el aumento de la prolificidad necesitan ser capitalizados en el aumento de la productividad de las ovejas, por lo que la generación de conocimiento para mejorar el crecimiento posnatal de los corderos provenientes de partos múltiples es imperativo. La medición de la expresión de genes involucrados con la producción y composición de la leche, permitirá identificar ovejas de baja vs. alta productividad para realizar una mejora genética.

Metodología

Animales y área de estudio. Se utilizaron 9 ovejas Pelibuey de entre 2 y 10 años, clasificándolas como jóvenes y grandes a las que tuvieran máximo 3 años (n = 3) o 5 años o más (n = 6), respectivamente. Las ovejas se encontraban entre los 16 y 24 días de lactación con 2 corderos nacidos. Los animales pertenecían al rancho "Las Jaras", ubicado en el municipio de Bachíniva, Chihuahua. El trabajo de laboratorio se realizó en el Laboratorio de

Biología Molecular de la Facultad de Zootecnia y Ecología de la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Toma de muestras y extracción de ARN total. Las ovejas fueron ordeñadas manualmente para obtener 50 mL de leche de ambos medios. Cinco minutos antes de la ordeña, se les inyectó 5 UI de oxitocina (Oxitocine Facilpart) por vía intramuscular. Se realizó una limpieza de la ubre utilizando abundante agua y jabón; posteriormente, se desinfectaron ambos medios con povidona yodada y, finalmente, se limpiaron los pezones con RNAseZap™ (invitrogen by ThermoFisher Scientific). Las muestras fueron colectadas en tubos cónicos de 50 mL, en los que se colocó una gasa estéril como filtro; dichas muestras fueron colocadas en hielo y transportadas al laboratorio para la extracción de ARN total (ARNt).

La obtención del paquete de células somáticas, se llevó a cabo conforme a Suárez-Vega *et al.* (2015). A cada tubo se le añadieron 50 µL de EDTA 0.5 M y se centrifugaron a 2000 x g por 10 min a 4 ºC. La grasa fue removida con una punta para pipeta y se desechó el sobrenadante; se efectuaron tres lavados con 10 mL de PBS y una concentración final de 0.5 mM de EDTA. El paquete celular fue resuspendido en 500 µL de trizol (TRI Reagent® Sigma-Aldrich) y almacenados a -80 ºC hasta la extracción de ARNt. El ARNt fue extraído por el método del trizol siguiendo las instrucciones del fabricante y tratado con ADNasas. Las muestras de ARNt fueron cuantificadas usando un espectrofotómetro Nanodrop 2000 (ThermoFisher Scientific) y se determinó el grado de pureza utilizando la relación de absorbancias A260/A280 y A260/230.

Diseño de oligonucleótidos para qPCR. Los niveles de ARNm SLC2A1 relativos a *β-actina*, se midieron mediante PCR cuantitativa en tiempo real (qPCR) utilizando oligonucleótidos diseñados con el programa primer-BLAST del NCBI (https://www.ncbi.nlm.nih.gov/tools/primer-blast/) con base en las secuencias de referencia del banco de genes XM_015091913.1 y U39357.2 para los genes SLC1A2 y *β-actina*, respectivamente (cuadro 1).

Cuadro 1. Oligonucleótidos usados para qPCR

Oligonucléotido	Secuencia (5'-3')	Tamaño amplicón (pb)
OGLUT1F	TTCTGGCTTCCGACAGGGAG	85
OGLUT1R	CACTTGGGAATCGCTCCCAG	
OBACTF	CAAGGCCAACCGTGAGAAGAT	99
OBACTR	GAGGCGTACAGGGACAGCA	

Fuente: elaboración propia

Síntesis de ADNc y cuantificación de transcritos. La síntesis de ADN complementario (ADNc) fue realizada a partir de 238 ng de ARNt utilizando el kit PrimeScript™ RT Reagent Kit Whit gDNA Eraser (Takara), siguiendo las instrucciones del fabricante. Para la qPCR, se utilizó la mezcla Maxima SYBR Green qPCR Master Mix (2X) (ThermoFisher Scientific). La reacción de qPCR fue realizada en un termociclador (Applied Biosystems™ StepOne™ Real-Time PCR System) en un volumen final de 20 µL, conteniendo 10 µl de mezcla, 1400 nM de oligonucleótidos para SLC2A1 o 1000 nM para *β-actina*, 0.04 µl de ROX, agua libre de nucleasas y 1 µL de ADNc (proveniente de 11.9 ng de ARNt). Cada corrida de qPCR, se acompañó de una curva estándar compuesta de seis puntos con un rango dinámico de 12.5 a 4 x 10^{-3} ng de cDNA proveniente del ARN total y generada a partir de diluciones seriadas 1:5 del punto más concentrado. Los valores de R^2 en todas las corridas del experimento fueron de 0.99; asimismo, los valores para la eficiencia resultaron entre 80 %-82 % con una diferencia aproximada de 2 % entre el gen de referencia y el gen de interés usando tres réplicas técnicas.

Las condiciones de PCR para el gen SLC2A1 fueron: 50 ºC por 2 min (1 ciclo), 95 ºC por 2 min (1 ciclo), 40 ciclos de 95 ºC por 15 s, 59 ºC por 20 s y 72 ºC por 30 s, medición de fluorescencia en la fase de extensión y un programa de curva de disociación final que aumenta 0.5 ºC en cada ciclo de 5 s, desde 60 ºC hasta 95 ºC. Para el gen de *β-actina*, se utilizaron las mismas condiciones, excepto que la alineación y extensión se llevó a cabo en un solo paso a 60 ºC por 1 min.

La expresión de SLC2A1 se reportó en relación con la expresión de *β-actina* de, al menos, tres replicas biológicas y tres réplicas técnicas cada una, utilizando el método $2^{-\Delta Cq}$ de Schmittgen and Livak (2008).

Comportamiento productivo de los corderos. Se registró el PN de los corderos y el GND (75 d); los pesos de las hembras fueron ajustados utilizando los factores —de ajuste— calculados por Vargas (2015) y, posteriormente, se calculó la ganancia del PN al GND.

Análisis estadístico. Los niveles de expresión del gen SLC2A1 relativo a *β-actina*, PN y GND fueron analizados con un Anova empleando la edad de la madre como efecto aleatorio, tomando un nivel de $\alpha < 0.05$ con PROC GLM de SAS (versión 9.2; SAS Institute, Inc., 1999).

Resultados

En el cuadro 2 se presentan las medias obtenidas para el PN y el GND de los corderos nacidos de las ovejas estudiadas. Como se puede observar, no hubo diferencias estadísticas para ninguna de las dos variables, aun cuando numéricamente los corderos de ovejas jóvenes ganaron menos peso que los nacidos de ovejas grandes.

Las medias de los niveles de expresión del gen SLC2A1 relativo a *β-actina* en células somáticas de leche de ovejas empleadas en el presente estudio están representadas en la gráfica 1. Los datos muestran que el nivel de mRNA SLC2A1 fue 2.3 veces más alto ($p = 0.02$) en las células somáticas de leche de ovejas jóvenes comparadas con las grandes, con una expresión relativa de 0.024 ± 0.004 y 0.01 ± 0.003, respectivamente.

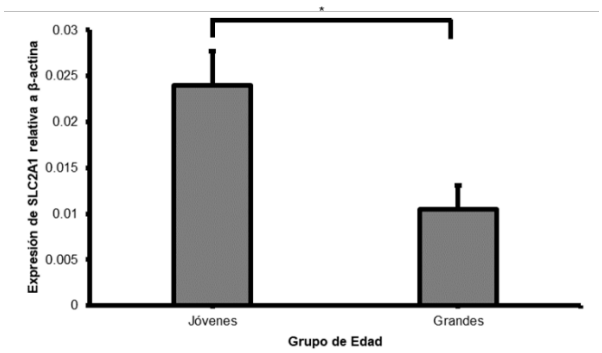
Cuadro 2. Medias ± error estándar para peso al nacimiento y ganancia del nacimiento al destete de corderos Pelibuey nacidos de partos dobles, de acuerdo con la edad de la borrega

Característica (kg)	Grupo de edad		*P*
	Jóvenes	Grandes	
PN	3.3 ± 0.20	3.4 ± 0.16	0.7
GND	9.7 ± 0.89	11.9 ± 0.71	0.09

PN = Peso al nacimiento; GND = Ganancia del nacimiento al destete.

Fuente:

Gráfica 1. Nivel de expresión de ARNm SLC2A1 relativo a *β-actina* en células somáticas de leche de ovejas prolíficas Pelibuey. Las barras muestran las medias ± error estándar calculado con el método de $2^{-\Delta CT}$



Fuente:

Discusión

En el caso de los sistemas de producción de ovinos-carne, la rentabilidad se maximiza con la cantidad de kilogramos de cordero vendidos, por lo que tanto investigadores como productores han dirigido sus esfuerzos a mejorar las características reproductivas de la borrega, como la prolificidad (Notter, 2008). Sin embargo, debido a la gran variabilidad de los sistemas de producción, que van desde el traspatio hasta los sistemas intensivos (Cardona Tobar *et al.*, 2020) en diferentes razas (Notter, 2008), incluida la Pelibuey (Vargas, 2015), se ha reportado que las ovejas altamente prolíficas pueden presentar baja eficiencia productiva, debido a los PN bajos y una alta tasa de mortandad pre y posnatal. Por lo tanto, estudios que revelen diferencias en la capacidad uterina y producción de leche en ovejas prolíficas son de suma importancia. En este trabajo, se caracterizó la expresión del gen SLC2A1 que codifica para GLUT1, principal proteína transportadora de glucosa expresada en la glándula mamaria de diferentes especies (Bentley *et al.*, 2012).

La expresión del gen SLC2A1 fue mayor en las células somáticas de ovejas jóvenes que en las grandes. Se ha reportado en la literatura que la síntesis de lactosa funciona como cuello de botella para la producción de leche. Esta síntesis está en función de la disponibilidad de glucosa y galactosa en el interior del aparato de Golgi. Para que la glucosa circulante alcance este sitio, es necesaria la correcta y suficiente acción de proteínas facilitadoras transportadoras, como GLUT1 (Zhao, 2014). En roedores y rumiantes, se ha reportado que el número de células mamarias está relacionado con la producción de leche (Weaver, & Hernández, 2016), así como que el volumen de la glándula mamaria y la producción de leche se incrementan conforme pasan las lactancias (Fuerst-Waltl *et al.*, 2004).

Conclusiones

Es probable que exista un mecanismo de regulación positiva de la expresión del gen SLC2A1 en las ovejas más jóvenes con más de una cría en el parto, como una forma compensatoria del volumen de producción de leche para alimentar a sus corderos y que estos no se vean excesivamente rezagados en su crecimiento del nacimiento al destete.

Aportaciones

Con el conocimiento generado en esta investigación, se sugiere que la expresión del gen SLC2A puede ser regulada dependiendo de la edad de la borrega y sus niveles de expresión pueden estar relacionados con el volumen de producción de leche; sin embargo, es necesario realizar más investigaciones con un mayor número de animales y la medición de otras variables, como rendimiento en leche y niveles de proteína en las células somáticas de la leche (CSL).

Literatura citada

Aguilar-Martínez, C. U., Berruecos-Villalobos, J. M., Espinoza-Gutiérrez, B., Segura-Correa, J. C., Valencia-Méndez, J., & Roldán-Roldán, A. (2017). Origen, historia y situación actual de la oveja Pelibuey en México. *Tropic. Subtropic. Agroec., 20*(3), 429-439.

Bentley, P. A., Shao, Y., Misra, Y., Morielli, A. D., & Zhao, F. Q. (2012). Characterization of Bovine Glucose Transporter 1 Kinetics and Substrate Specificities in Xenopus Oocytes. *J. Dairy Sci., 95*(3), 1188-1197. https://doi.org/10.3168/jds.2011-4430

Cardona Tobar, K. M., López Álvarez, D. C., & Álvarez Franco, L. Á. (2020). Estudios de asociación genómica en ovinos de América Latina. *Revisión. Rev. Mex. Cienc. Pec., 11*(3), 859-883. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5372

Chay-Canul, A., Parra-Bracamonte, G., López-Villalobos, N., Herrera-Ojeda, J., Magaña-Monforte, J., Peniche-González, I., García-Herrera, R. (2020). Milk Yield and Composition of Katahdin and Pelibuey Ewes in Tropical Conditions. *J. Anim. Feed Sci., 29*(4), 352-357. https://doi.org/10.22358/jafs/129966/2020

Fuerst-Waltl, B., Reichl, A., Fuerst, C., Baumung, R., & Solkner, J. (2004). Effect of Maternal Age on Milk Production Traits, Fertility, and Longevity in Cattle. *J. Dairy Sci., 87*(7), 2293-2298. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)70050-8

García-Chávez, C. A., Luna-Palomera, C., Macías-Cruz, U., Segura-Correa, J. C., Ojeda-Robertos, N. F., Peralta-Torres, J. A., & Chay-Canul, A. J. (2020). Crecimiento de corderos y productividad en ovejas Pelibuey mantenidas bajo condiciones tropicales de producción. *Rev. Mex. Cienc. Pec., 11*(3), 884-893. https://doi.org/10.22319/rmcp.v11i3.5157

Gootwine, E. (2020). Invited Review: Opportunities for Genetic Improvement toward Higher Prolificacy in Sheep. *Small Rumin. Res., 186*. https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106090

Notter, D. R. (2008). Genetic Aspects of Reproduction in Sheep. *Reprod. Domest. Anim., 43*(Suppl. 2), 122-128. https://doi.org/10.1111/j.1439-0531.2008.01151.x

Pérez-Ruiz, E., Gallegos-Sánchez, J., Cortez-Romero, C., Segura-León, O. L., Salinas-Ruiz, J., & Salazar-Ortiz, J. (2020). FecG(E) Mutation in Pelibuey Sheep. *Anim. Genet., 51*(2), 346-347. https://doi.org/10.1111/age.12912

Scherf, B. D., & Pilling, D. (2015). The Second Report on the State of The World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture.

Schmittgen, T. D., & Livak, K. J. (2008). Analyzing Real-time PCR Data by the Comparative C(T) Method. *Nat. Protoc., 3*(6), 1101-1108. https://doi.org/10.1038/nprot.2008.73

Silanikove, N., Blum, S., Zachut, M., Merin, U., Shapiro, F., Kra, G., & Leitner, G. (2018). Biochemical Properties of Milk Reflect Evolutional Adaptations of Reproductive Strategy in Women, Cows and Mice. *Israel J. Vet. Med., 73*, 1.

Silva, B. D., Castro, E. A., Souza, C. J., Paiva, S. R., Sartori, R., Franco, M. M., . . . Melo, E. O. (2011). A New Polymorphism in the Growth and Differentiation Factor 9 (GDF9) Gene is

Associated with Increased Ovulation Rate and Prolificacy in Homozygous Sheep. *Anim. Genet., 42*(1), 89-92. https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02078.x

Suárez-Vega, A., Gutiérrez-Gil, B., Klopp, C., Robert-Granie, C., Tosser-Klopp, G., & Arranz, J. J. (2015). Characterization and Comparative Analysis of the Milk Transcriptome in Two Dairy Sheep Breeds using RNA Sequencing. *Sci. Rep., 5*, 18399. https://doi.org/10.1038/srep18399

Vargas Cázares, Á. (2015). Productividad de la borrega Pelibuey de acuerdo con su genotipo para el alelo FecGE del gen GDF9. Universidad Autónoma de Chihuahua.

Weaver, S. R., & Hernández, L. L. (2016). Autocrine-paracrine Regulation of the Mammary Gland. *J. Dairy Sci., 99*(1), 842-853. https://doi.org/10.3168/jds.2015-9828

Zhao, F. Q. (2014). Biology of Glucose Transport in the Mammary Gland. *J. Mam. Gland Biol. Neopl., 19*(1), 3-17. https://doi.org/10.1007/s10911-013-9310-8

Análisis del desarrollo y nivel de especies reactivas de oxígeno en partenotas bovinas en etapa de segmentación suplementadas *in vitro* con peróxido de hidrógeno y quercetina

Autora: Melissa Molina García[1]
Coautores: Chávez-Solano, M.[2]/Carrera-Chávez, J. M.[1]/Félix-Delgado, C. Y.[1]/Varela-Ramírez, A.[3]/Beristáin-Ruiz, D. M.[2]/Quezada-Casasola, A.[1]/Orozco-Lucero, E.[1]
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Médico Veterinario Zootecnista
Correo: al149526@alumnos.uacj.mx

Resumen
Los altos niveles de especies reactivas de oxígeno (ERO) generados durante la producción *in vitro* (PIV) de embriones conducen al arresto embrionario. Por ello, se han investigado los efectos de la suplementación del antioxidante quercetina (Q) durante la PIV. El objetivo fue evaluar la tasa de desarrollo y los niveles de ERO de embriones partenogenéticos (partenotas) de bovinos en distintos estadios: 2 células (2C); 4 células (4C); 8 células temprano (8C Temp.); y 8 células tardío (8C Tard.) al suplementar 2 µM de Q al medio de cultivo *in vitro* (CIV) en presencia o ausencia de 85 µM de peróxido de hidrógeno. Los resultados sugieren que la Q disminuye los niveles de ERO, a la vez que aumenta las tasas de desarrollo de partenotas segmentadas, especialmente alrededor del estadio de 8C en el que presuntamente ocurre la mayor oleada de la activación del genoma embrionario.

Introducción
La producción *in vitro* de embriones (PIV) se utiliza en el estudio del desarrollo temprano para la conservación de embriones o tratar problemas reproductivos en diversas especies, incluyendo seres humanos. Sin embargo, existen factores en la PIV capaces de impactar el desarrollo, incluyendo altos niveles de especies reactivas de oxígeno (ERO), ocasionando estrés oxidativo, el cual se incrementa en condiciones *in vitro* (Betts, Bain, & Madan, 2014). Por este motivo, se ha intentado reducir el daño ocasionado por el estrés oxidativo al suplementar antioxidantes durante la PIV (Yu *et al.*, 2014). Un ejemplo de estos antioxidantes es la quercetina, flavonoide que secuestra anión superóxido (O_2^-), importante precursor de

[1] Departamento de Ciencias Veterinarias de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Ciudad Juárez, Chihuahua, México; C. P. 32310.
[2] Departamento de Ciencias Químico-Biológicas de la UACJ. Ciudad Juárez, Chihuahua, México; C. P. 32310
[3] The Border Biomedical Research Center, Dep. Biological Sciences, The University of Texas at El Paso (UTEP). El Paso, Texas; 79968.

ERO (Betts *et al.*, 2014). Por ejemplo, Yu *et al.* (2014) disminuyeron los niveles de ERO en embriones preimplantados de ratón al suplementar quercetina, aun en presencia de peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Aunque este estudio ha determinado parte del efecto del estrés oxidativo y la suplementación de quercetina durante el desarrollo temprano, aún no se cuenta con suficiente información acerca del efecto preciso de la suplementación conjunta de oxidantes y antioxidantes sobre la segmentación embrionaria y los niveles de ERO. Esto aplica tanto en embriones producidos por fertilización como por partenogénesis (partenotas). La etapa de segmentación incluye la activación del genoma embrionario (AGE), proceso crucial durante el desarrollo temprano y sumamente sensible al estrés oxidativo (Gad *et al.*, 2012).

Desarrollo

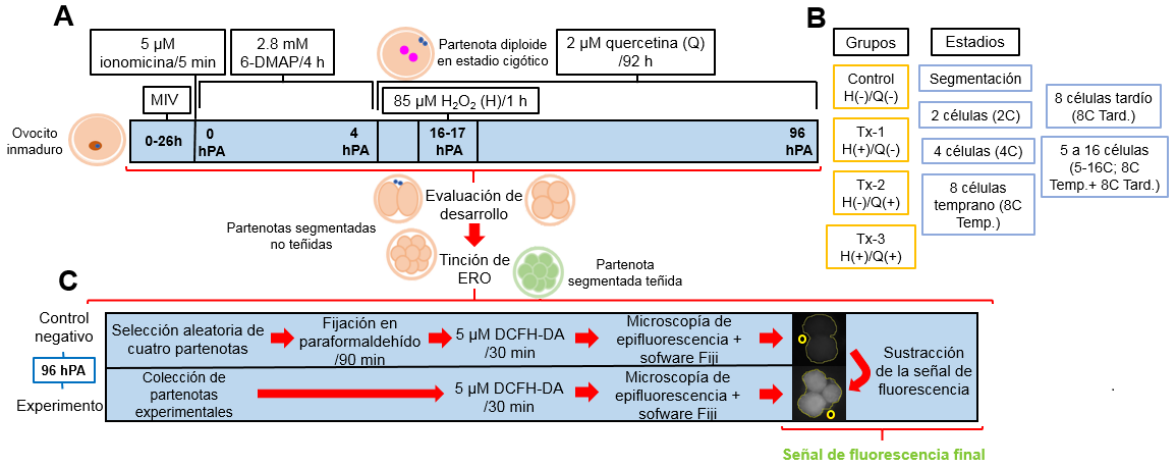
Justificación

Se ha incrementado la incidencia de enfermedades reproductivas, tanto en animales domésticos como en seres humanos. Por tanto, las tecnologías de la reproducción asistida y la implementación de modelos de estudio han progresado a la par (Betts *et al.*, 2014). Para incrementar el éxito de modelos embrionarios *in vitro*, ya sea por fertilización o partenogénesis, se busca disminuir el estrés oxidativo al suplementar antioxidantes (Yu *et al.*, 2014). No obstante, los mecanismos asociados no han sido completamente dilucidados. Por ello, el objetivo fue evaluar el efecto de suplementar H_2O_2 y quercetina al medio de cultivo de partenotas bovinas en etapa de segmentación, al ser una fase de suma importancia durante el desarrollo.

Metodología

Obtención de complejos cúmulus ovocito y maduración in vitro. Se colectaron ovarios en el Rastro Municipal de Ciudad Juárez bajo los estándares del Comité de Ética y Bioética de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ). Se transportaron en solución de 0.9 % (p/v) NaCl a 38.5 ºC. Se puncionaron folículos de 2-8 mm de diámetro. Se seleccionaron ovocitos con un citoplasma homogéneo y con cúmulus compacto y completo (Blondin, & Sirard, 1995). Los complejos cúmulus ovocito (COC, por sus siglas en inglés) se lavaron en BO-WASH (IVF Bioscience, Falmouth, Reino Unido) a 36 ºC y se distribuyeron 10 COC/gota de 50µl, tras equilibrio a 38.5 ºC/6.5 % CO_2/100 % humedad relativa (HR) en BO-IVF (IVF Bioscience). Se colocaron en maduración *in vitro* (MIV) durante 26 h a 38.5 ºC/6.5 % CO_2/100 % HR (figura 1A).

Figura 1. Metodología. Obtención de partenotas y exposición a tratamientos: A) Grupos experimentales y estadios de desarrollo evaluados. B) Tinción de ERO y obtención de fluorescencia. C) Maduración *in vitro* (MIV); 6-dimetilaminopurina (6-DMAP); horas posactivación partenogenética (hPA); tratamiento (Tx); presencia (+); ausencia (-); diclorofluoroscina diacetato (DCFH-DA); región de interés (línea amarilla delgada); ejemplo de la zona de la que se restó el valor de fluorescencia de fondo en cada imagen (círculo amarillo)



Fuente: elaboración propia

Partenogénesis activada y cultivo in vitro. Tras la MIV se realizó la partenogénesis activada (PA). Las gotas de 50 µl de BO-IVF (IVF Bioscience), se equilibraron a 38.5 ºC/6.5 % CO_2/100 % HR. Se desnudaron COC mecánicamente en BO-WASH/0.33 mg/mL hialuronidasa (Sigma®, St. Louis, MO). De 20-40 ovocitos se incubaron por 5 min a 38.5 ºC/6.5 % CO_2/100 % HR en BO-IVF/5 µM ionomicina (Sigma®). Los ovocitos activados con ionomicina (0 h pospartenogénesis activada; hPA) se lavaron con BO-WASH e incubaron por 4 h (mismas condiciones) en grupos de 20-40 por gota de BO-IVF/2.8 mM 6-DMAP (Sigma®). Los presuntos cigotos (p-Ci) se lavaron con BO-WASH y se colocaron en grupos de 8-12 por gota de 10 µl de BO-IVF (IVF Bioscience). Las partenotas diploides se mantuvieron en cultivo *in vitro* (CIV) a 38.5 ºC/6 % CO_2/6 % O_2/88 % N_2/100 % HR hasta las 96 hPA (figura 1A).

Tratamientos con peróxido de hidrógeno y quercetina. Se suplementó quercetina (Q4951, Sigma®) a 2 µM (Sovernigo *et al.*, 2017) desde el inicio del CIV como pretratamiento antioxidante (Yu *et al.*, 2014); 12 h después los p-Ci se expusieron durante 1 h a 85 µM H_2O_2 (Sigma®; Betts *et al.*, 2014). Los p-Ci se lavaron con BO-WASH y se colocaron en medio CIV en ausencia de H_2O_2, pero con quercetina hasta las 96 hPA (figura 1A).

Evaluación de desarrollo partenogenético. La segmentación de partenotas, se evaluó al estereoscopio a las 96 hPA. Se registraron los siguientes estadios: 2 células (2C); 4 células (4C); 8 células temprano (8C Temp.); 8 células tardío (8C Tard.); y 5 a 16 células (5-16C; combinación de los datos de 8C Temp. y 8C Tard. para estimar el desarrollo) (figura 1B). Los cálculos de la tasa de desarrollo, se realizaron con las fórmulas:

$$\%\,Segmentación = \frac{estr.segmentadas}{COC\ MIV} \times 100$$

$$\%\,8C\ Tempr. = \frac{estr.8C\ Temp.}{COC\ MIV} \times 100$$

$$\%\,2C = \frac{estr.2C}{COC\ MIV} \times 100$$

$$\%\,8C\ Tard. = \frac{estr.8C\ Tard.}{COC\ MIV} \times 100$$

$$\%\,4C = \frac{estr.4C}{COC\ MIV} \times 100$$

$$\%\,5\text{-}16C = \frac{estr.\ 8C\ Temp. + estr.\ 8C\ Tard.}{COC\ MIV} \times 100$$

Donde: estr. = Número de estructuras; COC-MIV = Complejos cúmulus-ovocito colocados en maduración *in vitro*; 2C = 2 células; 4C = 4 células; 5 a 8 células/8C Temp. = 8 células temprano; 10 a 16 células/8C Tard. = 8 células tardío; y 5-16C = 5 a 16 células.

Tinción de especies reactivas de oxígeno y evaluación de fluorescencia. Tras 96 hPA se tiñeron partenotas segmentadas por 30 min a 38.5 °C/6 % CO_2/6 % O_2/88 % N_2/100 % HR en BO-IVC/5 µM diclorofluoroscina diacetato (DCFH-DA; Sigma®) y se lavaron con PBS/1 mg/mL alcohol polivinílico. Se utilizó una sola imagen de epifluorescencia por partenotas con un microscopio Axio Observer.Z1, objetivo 20X y filtro de fluorescencia (excitación, 495 nm; emisión, 520 nm; Zeiss; Oberkochen, Alemania). Se expuso por 150 mS por medio del *software* ZEN Blue 2011 (Zeiss). Se utilizaron 3 réplicas o más de mínimo 3 partenotas. Se determinaron niveles de fluorescencia en todos los estadios por separado con el *software* Fiji (https://fiji.sc; Schindelin *et al*., 2012) con una imagen en escala de grises. Se combinaron los estadios de 8C Temp. y 8C Tard. para estimar la fluorescencia en el estadio 5-16C. En cada imagen se restó el valor de fluorescencia de fondo. A cada partenota (región de interés: citoplasma), se le restó la intensidad de fluorescencia del control negativo de su experimento: promedio de partenotas fijadas en 4 % (p/v) paraformaldehído antes de incubar en DCFH-DA (Betts *et al*., 2014). La fluorescencia se expresó en unidades arbitrarias (UA) (figura 1C).

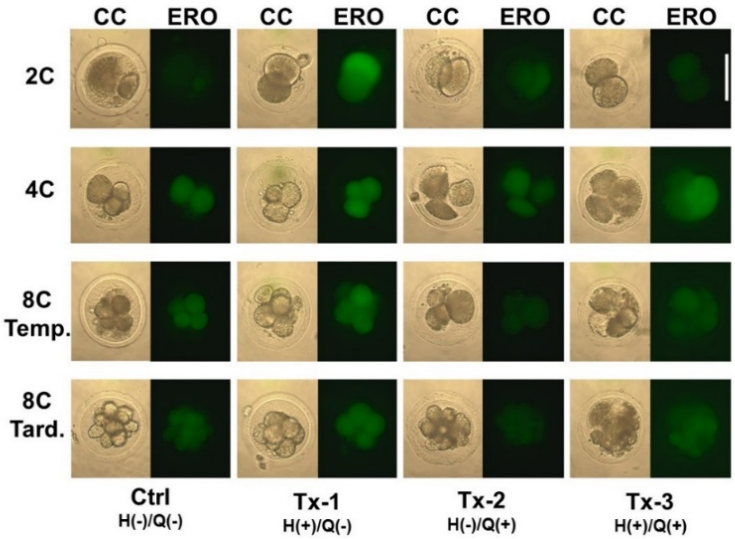
Diseño experimental. Se evaluó el desarrollo de partenotas tras cultivar en presencia (+) o ausencia (-) de H_2O_2 (H) o quercetina (Q). Los grupos fueron: 1) Control (Ctrl), H(-)/Q(-); 2) Tratamiento (Tx) 1, H(+)/Q(-); 3) Tx-2, H(-)/Q(+); y 4) Tx-3, H(+)/Q(+) (figura 1B). Se utilizaron 5 repeticiones para Ctrl y 6 para los demás grupos.

Análisis estadístico. Se graficó la media ± error estándar (EE) de la tasa de desarrollo y la intensidad de fluorescencia de los tratamientos respecto a la media del Ctrl con GraphPad Prism 8.0 (GraphPad Prism, San Diego, CA). Los datos en porcentaje (desarrollo) se transformaron al arcoseno previo al análisis. En ambos casos, se empleó prueba T múltiple (Holm-Sidak). Se consideraron diferencias significativas cuando $P \leq 0.05$.

Resultados

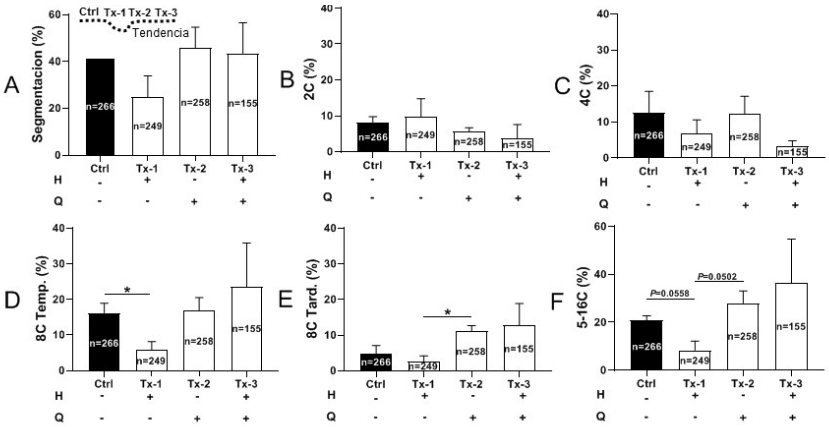
La figura 2 muestra microfotografías representativas (campo claro e imagen de epifluorescencia) de los estadios (2C; 4C; 8C Temp; 8C Tard; 5 a 16C) por tratamiento [Ctrl H(-)/Q(-); Tx-1, H(+)/Q(-); Tx-2, H(-)/Q(+); Tx-3, H(+)/Q(+)]. En el estadio de 8C Temp., Ctrl tuvo una mayor tasa de desarrollo que Tx-1 ($P < 0.05$; Gráf. 1D). En el estadio de 8C Tard, Tx-1 presentó una menor tasa de desarrollo que Tx-2 ($P < 0.05$; Gráf. 1E). En el estadio de 5-16C (8C Temp. + 8C Tard.), Tx-1 mostró una menor tasa de desarrollo que Ctrl ($P = 0.0558$) y que Tx-2 ($P = 0.0502$; Gráf. 1F). Al evaluar los resultados de la fluorescencia en el estadio 2C, Tx-1 presentó niveles de ERO más elevados que Ctrl y que Tx-2, a la vez que Tx-2 mostró menor fluorescencia que Ctrl ($P < 0.05$; Gráf. 2A). En el estadio de 8C Temp., los niveles de ERO en Tx-1 fueron más elevados que en Ctrl ($P < 0.01$), Tx-2 y Tx-3 ($P < 0.0001$; Gráf. 2C). En el estadio de 8C Tard., los niveles de ERO en Tx-1 resultaron más elevados que en Tx-2 y Tx-3 ($P < 0.05$; Gráf. 2D). En el estadio de 5-16C (8C Temp. + 8C Tard), Tx-1 presentó niveles de ERO más elevados que Ctrl ($P < 0.01$), Tx-2 y Tx-3 ($P < 0.0001$; Gráf. 2E).

Figura 2. Microfotografías representativas de partenotas segmentadas de bovinos tratadas con peróxido de hidrógeno o quercetina. Microscopía de campo claro (CC) y epifluorescencia de especies reactivas de oxígeno (ERO) en partenotas teñidas con diclorofluoroscina diacetato (DCFH-DA) en estadios de 2 células (2C), 4 células (4C), 8 células temprano (5 a 8 células; 8C Temp.) y 8 células tardío (10 a 16 células; 8C Tard.) en ausencia (-) y presencia (+) de peróxido de hidrógeno, H_2O_2 (H) y quercetina (Q). Ctrl = Control; Tx = Tratamiento. Barra de escala: 100 µm



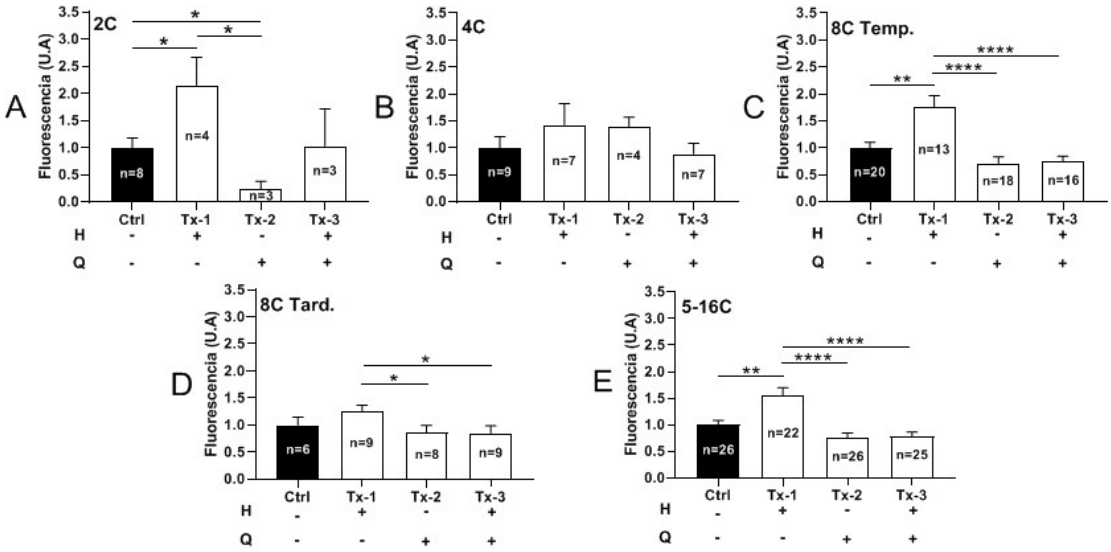
Fuente: elaboración propia

Gráfica 1. Evaluación del desarrollo en partenotas bovinas: tasas de desarrollo en partenotas bovinas en estadio de segmentación (A); 2 células (2C; B), 4 células (4C; C), 8 células temprano (5 a 8 células; 8C Temp; D), 8 células tardío (10 a 16 células; 8C Tard; E) y 5 a 16 células (8C Temp. + 8C Tard; 5-16C; F) cultivadas en ausencia (-) y presencia (+) de peróxido de hidrógeno, H_2O_2 (H; 85 µM) y quercetina (Q; 2 µM). Las barras muestran la media ± error estándar (EE). *($P \leq 0.05$). Ctrl = Control; Tx = Tratamiento; *n* = número de complejos cúmulos ovocito inicialmente colocados en maduración *in vitro*



Fuente: elaboración propia

Gráfica 2. Evaluación de los niveles de fluorescencia de ERO en partenotas bovinas. Niveles de ERO teñidas con diclorofluoroscina diacetato (DCFH-DA) en partenotas bovinas en estadios de 2 células (2C; A), 4 células (4C; B), 8 células temprano (5-6 células; 8C Temp; C), 8 células tardío (10 a 16 células; 8C Tard; D) y 5 a 16 células (8C Temp. + 8C Tard; 5-16C; E) en ausencia (-) y presencia (+) de peróxido de hidrógeno, H_2O_2 (H; 85 µM) y quercetina (Q; 2 µM). Las barras muestran la media ± error estándar (EE). *($P \leq 0.05$); **($P \leq 0.01$); ****($P \leq 0.0001$). Ctrl = Control; Tx = Tratamiento; UA = Unidades arbitrarias; *n* = Número de partenotas analizadas



Fuente: elaboración propia

Conclusiones

Discusión

Debido a su acción antioxidante, la Q disminuye los niveles de ERO, aumentando el potencial de la membrana mitocondrial y previniendo el estrés oxidativo (Yu *et al.*, 2014). Estos efectos también se han reportado en embriones. Tal es el caso de Kang *et al.* (2016), quienes suplementaron 3.3 µM Q durante la MIV previo a la producción de partenotas de cerdo. En dicho estudio la suplementación de Q disminuyó los niveles de ERO e incrementó la tasa de desarrollo partenogenético. De manera similar, Sovernigo *et al.* (2017) observaron que tras suplementar 2 µM Q al medio de MIV de ovocitos bovinos los niveles de ERO disminuyen, aumentando la tasa de desarrollo embrionario. Lo anterior podría prevenir los efectos negativos del H_2O_2, oxidante que facilita la producción de ERO (Yu *et al.*, 2014). Considerando que el desarrollo embrionario temprano depende completamente de la etapa de segmentación (Graf *et al.*, 2014), el presente estudio se enfocó en los efectos antioxidantes de la Q durante dicho periodo. Debido a la relativa cercanía del periodo de MIV y el inicio del desarrollo embrionario, este estudio utilizó 2 µM Q desde el inicio y durante el CIV, así como Sovernigo *et al.* (2017) realizaron en bovinos.

Asimismo, este trabajo empleó un pretratamiento de Q ante la aplicación de H_2O_2, para evaluar el potencial de la Q para prevenir los efectos adversos del H_2O_2. Esto debido a que Yu *et al.* (2014) indican que el pretratamiento de Q reduce el número de células apoptóticas y conserva al estado redox por medio de las defensas enzimáticas del embrión. Los estadios evaluados en el presente estudio fueron 2C, 4C, 8C Temp., 8C Tard. y 5-16C, abarcando momentos precisos de la etapa de segmentación. En bovinos, la mayor oleada de la AGE ocurre

durante el estadio de 8 a 16 células (Gad *et al.*, 2012). La AGE es de suma importancia, ya que establece las bases moleculares que regulan el desarrollo posterior, pudiendo ser fácilmente alterada durante el CIV, al incrementar el estrés oxidativo, conduciendo al arresto o muerte embrionaria (Gad *et al.*, 2012). Los resultados del desarrollo evaluado a las 96 hPA (4 días; tiempo estimado para alcanzar la etapa de 8-16 células en bovinos) indican que el H_2O_2 lo disminuye, mientras que la Q lo incrementa. Esto fue más visible en momentos específicos de la segmentación embrionaria, donde ocurre la mayor oleada de la AGE en bovinos: al inicio (8C Temp.) y al final (8C Tard.) de dicho evento molecular. Asimismo, los resultados en la etapa 5-16C (todo el periodo de la mayor oleada de la AGE) muestran una fuerte tendencia a que el desarrollo disminuye o aumenta tras suplementar oxidantes o antioxidantes, respectivamente. Los efectos en el desarrollo tras suplementar H_2O_2 y Q coinciden con modificaciones en los niveles de ERO, siendo estos más significativos que los observados en el desarrollo.

Esto incluye, incluso, partenotas con desarrollo arrestado (estadio 2C a las 96 hPA). De igual manera, sucedió en partenotas cuyo desarrollo coincide con la parte inicial (8C Temp.) y final (8C Tard.) de la mayor oleada de la AGE, reflejado también en el estadio 5-16C. Además, en el grupo Tx-3, H(+)/Q(+) la Q fue capaz de rescatar el incremento en los niveles de ERO ocasionado por el H_2O_2. Por tanto, se sugiere que el impacto en el desarrollo partenogenético tras suplementar H_2O_2 y Q es producto de las modificaciones en los niveles de ERO ocasionadas por dichas sustancias. Esto soporta la observación de que la AGE en bovinos es sensible al estrés oxidativo (Gad *et al.*, 2012) y sugiere que el estado redox durante tal periodo puede modificarse mediante suplementación en cultivo, influyendo en la segmentación y el desarrollo posterior. Se concluye que la suplementación de H_2O_2 aumenta los niveles de ERO, disminuyendo el desarrollo, en tanto que bajas concentraciones de Q los reducen, promoviendo el desarrollo de partenotas bovinas en etapa de segmentación, destacando que el desarrollo temprano bovino, alrededor del momento de la AGE, es sumamente sensible a modificaciones del estado redox. Sin embargo, los mecanismos por los cuales el H_2O_2 y la Q ejercen dichos efectos en este modelo quedan aún por determinarse.

Aportaciones

Los resultados del presente estudio generan información del efecto de suplementar Q durante la PIV bajo condiciones de estrés oxidativo, generado por un agente oxidante, específicamente durante un periodo crucial para el desarrollo embrionario. Esto podría emplearse para mejorar la generación *in vitro* de embriones, ya sea por PA o fertilización, tanto en bovinos como en otras especies. Por tanto, este modelo cuenta con potencial para mejorar los protocolos de la PIV, ya sea con fines de investigación, producción ganadera o la conservación de especies animales en categoría de riesgo.

Referencias

Betts, D. H., Bain, N. T., & Madan, P. (2014). The p66^{Shc} Adaptor Protein Controls Oxidative Stress Response in Early Bovine Embryos. *PLOS One, 9*(1), e86978. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0086978

Blondin, P., & Sirard, M. A. (1995). Oocyte and Follicular Morphology as Determining Characteristics for Developmental Competence in Bovine Oocytes. *Molec. Reprod. Develop., 41*(1), 54-62. https://doi.org/10.1002/mrd.1080410109

Gad, A., Hoelker, M., Besenfelder, U., Havlicek, V., Cinar, U., Rings, F., Held, E., Dufort, I., Sirard, M. A., Schellander, K., & Tesfaye, D. (2012). Molecular Mechanisms and Pathways Involved in Bovine Embryonic Genome Activation and their Regulation by Alternative *in vivo* and *in vitro* Culture Conditions. *Biol. Reprod., 87*(4), 100. https://doi.org/10.1095/biolreprod.112.099697

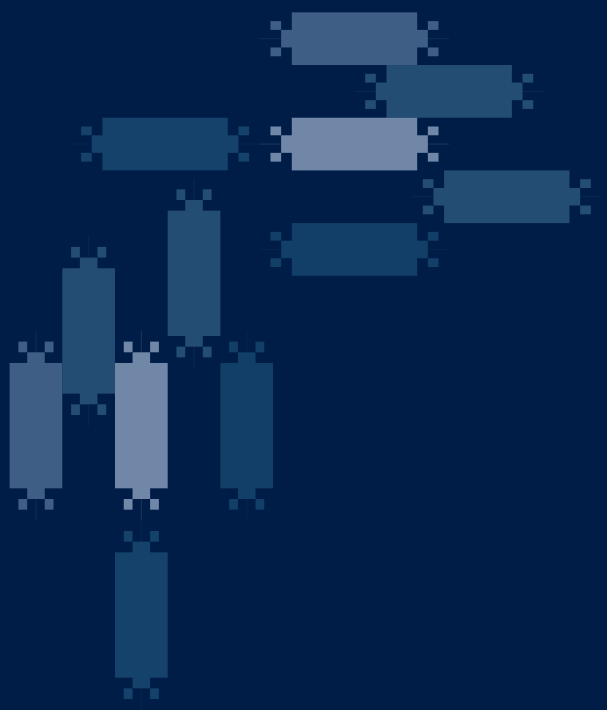
Kang, J. T., Moon, J. H., Choi, J. Y., Park, S. J., Kim, S. J., Saadeldin, I. M., & Lee, B. C. (2016). Effect of Antioxidant Flavonoids (Quercetin and Taxifolin) On *in vitro* Maturation of Porcine Oocytes. *Asian-Austral. J. Anim. Sci., 29*(3), 352-358. https://doi.org/10.5713/ajas.15.0341

Schindelin, J., Arganda-Carreras, I., Frise, E., Kaynig, V., Longair, M., Pietzsch, T., Preibisch, S., Rueden, C., Saalfeld, S., Schmid, B., Tinevez, J. Y., White, D. J., Hartenstein, V., Eliceiri, K., Tomancak, P., & Cardona, A. (2012). Fiji: An Open-source Platform for Biological-image Analysis. *Nat. Met., 9*(7), 676-682. https://doi.org/10.1038/nmeth.2019

Sovernigo, T. C., Adona, P. R., Monzani, P. S., Guemra, S., Barros, F., Lopes, F. G., & Leal, C. (2017). Effects of Supplementation of Medium with Different Antioxidants during *in vitro* Maturation of Bovine Oocytes on Subsequent Embryo Production. *Reprod. Domest. Anim., 52*(4), 5610569. https://doi.org/10.1111/rda.12946

Yu, S., Long, H., Lyu, Q. F., Zhang, Q. H., Yan, Z. G., Liang, H. X., Chai, W. R., Yan, Z., Kuang, Y. P., & Qi, C. (2014). Protective Effect of Quercetin on the Development of Preimplantation Mouse Embryos against Hydrogen Peroxide-induced Oxidative Injury. *PLoS One, 9*(2), e89520. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0089520

ÁREA VII.
INGENIERÍAS



Síntesis y estudio por DFT de Mn_3O_4 como posible cátodo en baterías de ion aluminio acuosas

Autor: José Alonso Hernández de la Cruz
Coautores: Lorena Rivera Ríos/José Rurik Faria Mancillas
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Ingeniería de Materiales
Correo: al216709@alumnos.uacj.mx
Tutor: Pierre Geovanni Maní González

Resumen
La electrificación del transporte ha creado una demanda de sistemas de almacenamiento de energía. Por ello, con el objetivo de desarrollar un nuevo sistema de almacenamiento electroquímico basado en elementos más abundantes y que sea más seguro, se sintetizaron partículas de 527.65 nm en promedio de diámetro de la fase Haussmanita, a partir de baterías de desecho de Zn-C, que se utilizaron como cátodo en un sistema de almacenamiento electroquímico de energía basado en el ion de aluminio. Del material se llevó a cabo un análisis *ab initio* de la termodinámica de inserción del ion Al^{+3}; experimentalmente se empleó un electrolito supersaturado de $AlCl_3*6H_2O$ con el cual se comprobó que es posible intercalar aluminio en Mn_3O_4, para dar paso a una fase de capas de $Al_xMn_2O_4$. Se obtuvo un voltaje teórico para esta transformación de fase 2.89V contra 1.6V experimental.

Palabras clave: batería; ion; aluminio; supersaturado.

Introducción
El desarrollo e instalación de fuentes de energía limpias, eólica o solar, en México ha presentado un aumento en las últimas décadas. La generación de energía de forma renovable presenta la desventaja de ser intermitente y susceptible al clima, lo cual genera periodos de generación de energía que no concuerdan con los de consumo (Rionda *et al.*, 2016). La principal forma utilizada para almacenar energía eléctrica es la energía electroquímica, siendo la predominante en capacidad energética y eficiencia las baterías de ion de litio. Las principales desventajas de las baterías de ion de litio es que son inflamables. El litio y el cobalto utilizado en la fabricación de sus electrodos requiere de alta purificación, lo cual se ve reflejado en el alto costo y el riesgo ambiental que estos materiales suponen (Wu *et al.*, 2019). Entonces es necesario encontrar una tecnología alternativa para almacenar energía electroquímica, siendo los iones y sistemas electroquímicos candidatos para esta tarea, tales como Na^{+1}, Ca^{+2}, Mg^{+2}, Zn^{+2} y Al^{+3}. El ion del aluminio se posiciona como uno de los más prometedores, ya que posee una alta capacidad volumétrica y su propiedad redox de tres electrones ofrece un mayor flujo de electrones por par ion, además de que su costo es reducido, porque existe una industria del reciclaje bien establecida (Yuan *et al.*, 2020).

Desarrollo

Justificación

La presente investigación se enfocó en modelar y confirmar la inserción de Al^{+3} en Mn_3O_4, para funcionar como cátodo de una celda electroquímica de almacenamiento de energía. Aun cuando se ha demostrado la posibilidad de intercalación de cloro-aluminado en grafito por Pan *et al.*, este tiene una baja densidad de energía, ya que el tamaño del ion es demasiado grande para que sea almacenado en grafito.

Además, como ha sido demostrado por Shiman *et al.*, la posibilidad de utilizar las propiedades redox del manganeso como cátodo para una batería acuosa, que en su caso empleó el electrolito $Al(OTF)_3$, es bastante costosa. Por lo que se propone una solución al problema de almacenaje del ion cloro-aluminio al buscar nuevos cátodos mediante la simulación de su estructura y la determinación de su perfil de voltaje de circuito abierto *ab initio* (Yuan *et al.*, 2020).

Dando lugar a una solución de problemas múltiple, ya que, además, se propone darles un nuevo uso a las baterías Zn-C, al utilizarlo como precursor para la fabricación experimental del cátodo. En este proyecto siempre se consideró el reutilizar materiales que usualmente son desecho, para lograr darles una nueva vida y así generar valor en estos. Por lo tanto, los beneficios que se esperan son que pueda ser fácilmente replicable en distintas partes del mundo con materiales fáciles de obtener, generando así un beneficio económico que no esté limitado por la geografía y la disposición de materiales a emplear.

Metodología

Metodología experimental

Se seleccionaron baterías de desecho de la marca Energizer tipo D de tipo Zn-C. Se procedió a extraer el residuo de manganeso de baterías de Zn-C utilizando los protocolos de seguridad que esto ameritaba. Luego se calcinaron 2 muestras de 10 g de la masa obtenida en una mufla a una temperatura de 900 °C con atmósfera ambiente por 2 h y 5 h, siguiendo la metodología descrita por Rifat, Kamrul, & Veena (2019). Se realizó caracterización a los polvos obtenidos por medio de difracción de rayos X, espectroscopía Raman, microscopía electrónica de barrido y espectroscopía de rayos X por dispersión de energía (Rifat, Kamrul, & Veena, 2019).

Se llevó a cabo el ensamble de la celda con un ánodo de aluminio 99.99 % puro grado industrial de 300 µm, un separador de papel filtro Whatman grado 2 impregnado en un electrolito de $AlCl_3{*}6H_2O$ y agua destilada en una proporción en peso de 1.0/0.8; el cátodo se fabricó con los polvos de Mn_3O_4 depositados directamente en una hoja de cinta de grafito con un grosor de 2 mm. Esta celda fue cargada a 1.6 V y 0.05 mA durante 6 h y el cátodo fue luego removido de la celda para efectuar un análisis de difracción de rayos X.

Metodología teórica

Todos los cálculos realizados en este trabajo fueron hechos en el programa Cambridge Serial Total Energy Package (Castep), en el cual se utilizó la aproximación generalizada del gradiente empleando el funcional de PBEsol de 2008. Se empleó una energía de corte de 380 eV, un mallado k de 2x2x2 de la zona de Brillouin y seudopotenciales ultrasuaves. Las optimizaciones geométricas se realizaron utilizando el algoritmo BFGS.

La celda unitaria que fue empleada como base para efectuar los cálculos posteriores, tenía los parámetros de red siguientes: a = b = 5.76 Å y c = 9.46 Å con las siguientes coordenadas fraccionales atómicas: Mn^{2+}(0, 0, 0), Mn^{3+}(0.5, 0.25, 0.125) y O(0, 0.216, 0.384).

Para determinar la fase más probable de inserción, se analizaron dos etapas de conversión. La primera fue una transformación, ya reportada por Wu *et al.* (2019), de espinela

a capas, en la que se lleva a cabo la inserción del ion de aluminio en una estructura de capas, la cual requiere del uso de un potencial externo. Sin embargo, con el fin de analizar si existe una posible intercalación directa en la estructura espinela, se analizó la inserción sustitucional de aluminio en un manganeso tetraédrico u octaédrico en la estructura espinela.

En esta transformación de fase, se genera una estructura donde se disuelven átomos de manganeso de la posición tetragonal y se colocan de manera que forman una nueva fase en forma de capas. Los átomos de aluminio pueden adoptar dos sitios dentro de la simetría $I4_1/amd$, que son las posiciones 4a y las posiciones 8c. Se probaron ambos sitios para evaluar el sitio de preferencia para la inserción de Al^{3+} y, posteriormente, se procedió a evaluar las siguientes tres estequiometrías de inserción: $Al_{0.250}Mn_2O_4$, $Al_{0.125}Mn_2O_4$ y $Al_{0.0833}Mn_2O_4$, para realizar la curva de voltaje.

Resultados

Difracción de rayos X de la síntesis de Mn_3O_4

Los difractogramas para las muestras sintetizadas a 900 °C durante 2 h y 5 h, se muestran en la figura 1, junto con el patrón de difracción al que fueron indexados. Los difractogramas de 2 h y 5 h, se indexaron a la fase tetragonal de Mn_3O4-Haussmanita, de acuerdo con el difractograma ICDD 01-080-0382 con parámetros de red de a = b = 5.765 Å y c = 9.444Å con un volumen de 313.81Å^3.

De este análisis, se concluyó que el tiempo de calcinado sí tiene un efecto directo sobre la estructura, ya que a mayores tiempos de calcinado el Zn presente en la materia prima se evapora de la estructura, aumentando el volumen de la celda convencional de 300.84 Å^3 para el grupo experimental calcinado por 2 h y a 310.83 Å^3 para el grupo experimental calcinado por 5 h, con un error absoluto respecto al volumen de referencia de solo 0.95 %.

Figura 1: a) Espectros de corrimiento Raman; b) Difractogramas de las muestras experimentales

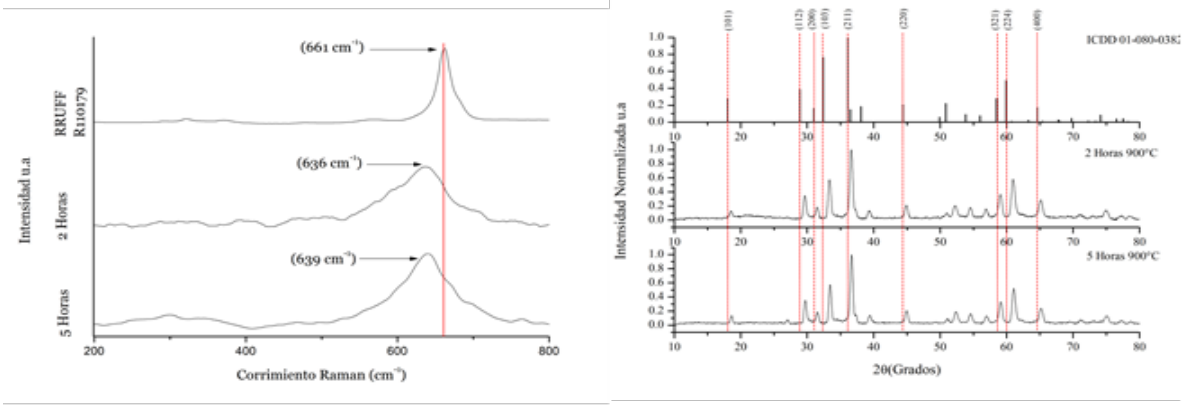


Figura 1 a) Espectros de corrimiento Raman b) Difractogramas de las muestras experimentales

Fuente: elaboración propia

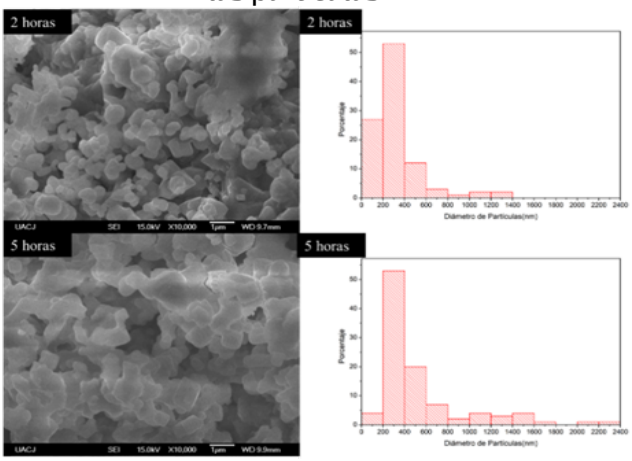
Espectroscopía Raman de la síntesis de Mn_3O_4

Los espectros Raman obtenidos de las muestras sintetizadas por 2 h y 5 h con señal Raman a 636 cm^{-1} y 639 cm^{-1}, respectivamente, se asignaron al modo vibracional A_{1g}. Ese corrimiento Raman, a menores longitudes de onda, se debe a un estrés de compresión en el material, atribuyéndose a la presencia de Zn y Fe en la estructura de Mn_3O_4 (Hidayat *et al.*, 2018).

Microscopía electrónica de barrido de la síntesis de Mn_3O_4

El análisis de la morfología de las partículas preparadas, se realizó por medio de microscopía electrónica de barrido (figura 2). En la parte superior (figura 2a), se puede observar una imagen de las partículas preparadas en un tiempo de calcinación de 2 h, donde la muestra presenta un promedio de diámetro de partícula de 317.76 nm. En la parte inferior (figura 2b), se puede observar la micrografía de la muestra calcinada por 5 h, la cual presentó un diámetro de partícula promedio de 527.65 nm.

Figura 2: a) Micrografías de las partículas; b) Histogramas de distribución del tamaño de las partículas

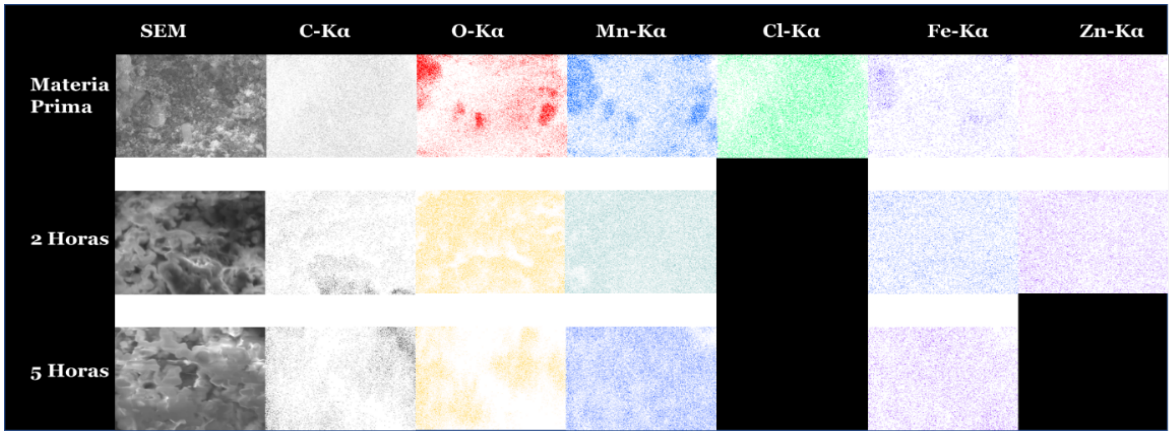


Fuente: elaboración propia

Espectroscopía de rayos X por energía dispersiva de la síntesis Mn_3O_4

El mapeo por espectroscopía de rayos X por energía dispersiva, se efectuó en la materia prima. El Mn_3O_4 calcinado por 2 h y el Mn_3O_4 calcinado por 5 h, se muestran en la figura 3. En el caso de la señal Kα del cloro desapareció en las muestras calcinadas durante 2 y 5 h. La señal Kα del hierro se mantuvo presente desde la materia prima hasta las dos muestras calcinadas durante 2 y 5 h. La señal Kα del zinc desapareció para la muestra calcinada por 5 h, confirmando que ya quedó una parte muy pequeña de Zn presente en el material, lo cual estaba en concordancia con lo reportado por Rifat *et al.* (2019). Además, esa evaporación del Zn de la estructura se asocia al aumento del volumen de la celda convencional de las partículas de Mn_3O_4.

Figura 3. Mapeo elemental de las muestras de materia prima (2 y 5 h)



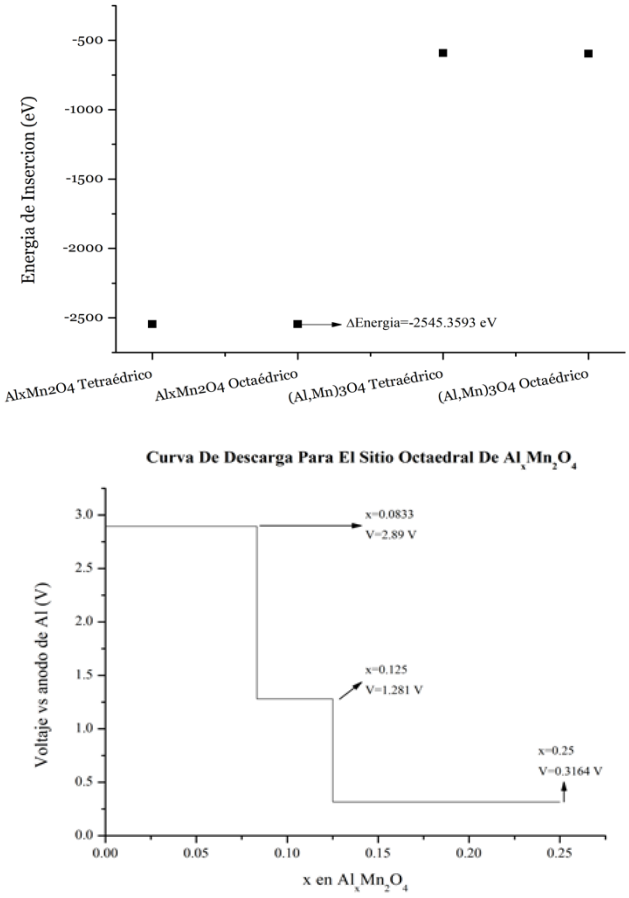
Fuente: elaboración propia

Resultados teóricos

En esta sección se discuten los resultados obtenidos para la fase óptima de inserción de ion Al^{+3} en dos etapas de conversión propuestas: $Al_xMn_2O_4$ y $(Al, Mn)_3O_4$. En la óptima termodinámica, se discuten aspectos de su respectiva curva de voltaje y su relación con estudios pasados en estas mismas fases de conversión del Mn_3O_4. La diferencia de energía entre la etapa Mn_3O_4 y las fases propuestas de $Al_xMn_2O_4$ en su etapa de capas y la estructura espinela $(Al, Mn)_3O_4$, se muestra en la figura 4. De las dos etapas, la que mostró una menor energía de transición fue la fase de capas $Al_xMn_2O_4$, como fue reportada por Wu *et al.* (2019).

La menor diferencia se dio en la inserción de aluminio en el sitio octaédrico, con un valor de -2545.3593 eV.

Figura 4: a) Diferencia de energía de inserción de cada fase propuesta; b) Curva de descarga para la inserción de aluminio en el sitio octaedral de la fase $Al_xMn_2O_4$



Fuente: elaboración propia.

Curva de voltaje

A partir de la fase de menor energía de inserción obtenida en el análisis de diferencia de energía entre fases, se determinó la curva de voltaje de la transformación de $Al_xMn_2O_4$ a Mn_3O_4. De esta etapa, se determinó un voltaje máximo entre ambas fases de 2.89 V respecto al ánodo de aluminio hasta una concentración x = 0.083 en $Al_xMn_2O_4$. En esta curva de voltaje, se obtuvo una concentración máxima de x = 0.25, ya que a esa concentración el voltaje es de 0.3164 V, por lo que ya se considera descargada, Además la gran diferencia de voltaje presente en la concentración x = 0.083 a 0.125, se atribuye al cambio de etapa que se lleva a cabo de $Al_xMn_2O_4$ a Mn_3O_4. Esta gran diferencia de cambio en el voltaje de una concentración a otra indica que posiblemente la reacción no sea reversible o, si lo es, generará una distorsión significativa de la red cristalina.

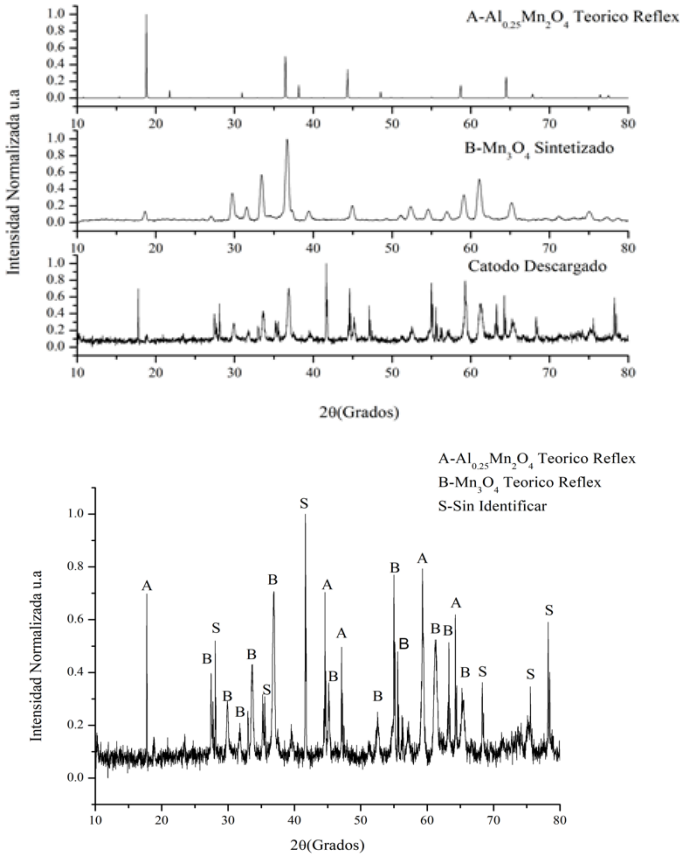
Resultados teóricos y experimentales después de la primera descarga electroquímica

En esta sección se discuten los resultados obtenidos después de la primera carga, analizando la conversión propuesta de Mn_3O_4 a $Al_xMn_2O_4$. En la figura 5 se muestra el

difractograma obtenido del cátodo cargado, el precursor Mn_3O_4 y, además, el difractograma teórico de la fase $Al_{0.25}Mn_2O_4$. En este se sigue presentando el patrón de difracción de la fase Haussmanita Mn_3O_4, indicando que no se convirtió todo el material a la fase de capas $Al_xMn_2O_4$, lo cual se atribuye a la baja conductividad del Mn_3O_4 por el gran tamaño de las partículas sintetizadas, generando así, posiblemente, partículas tipo *core-shell* de Mn_3O_4-$Al_xMn_2O_4$.

Consecuentemente, se midió el voltaje de circuito abierto de la celda experimental, resultando un voltaje de 1.6 V.

Figura 5: a) Comparación de difractogramas teóricos con experimentales después de la primera descarga electroquímica; b) Difractograma del cátodo después de la descarga electroquímica



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

La síntesis de Mn_3O_4, a partir de baterías de desecho de Zn-C, mostró ser factible y posible, ya que la estructura pudo ser identificada mediante difracción de rayos X. Se propuso que la fase más óptima de inserción de Al^{+3} es en una estructura de capas con estequiometría $Al_xMn_2O_4$ en sitios octaédricos del manganeso. Se obtuvo el difractograma teórico de la fase optimizada geométricamente de $Al_xMn_2O_4$, pudiendo ser corroborada de manera experimental al realizar la carga de la celda. Se comprobó que al utilizar un electrolito de AlCl3*6H2O supersaturado

en esta celda electroquímica, se puede intercalar el ion de aluminio en la estructura de Mn_3O_4. El voltaje experimental fue de 1.6 V, estando muy por debajo del voltaje máximo teórico de 2.89 V, lo cual está asociado a la ventana de potencial del electrolito de AlCl3*6H2O empleado.

Referencias

Alain, C., & Philippe, D. (1999). *Ab initio* Hartree-Fock Investigation of the Structural, Electronic, and Magnetic Properties of Mn_3O_4. *Physic. Rev. B, 60*(20).

Alers, P. (2007). *Aspects of the Synthesis and Characterization of Diamond and Diamond like Carbon Films.* Université de Neuchatel.

Castro, J., & Díaz, M. L. (2004). La contaminación por pilas y baterías en México. *Gac. Ecológ., 1*(72), 53-74.

Eunjeong, Y., Heejin, K., Sangryun, K., In, K., Jaehoon, K., Jang, W., & Yousung, J. (2017). Origin of Unusual Spinel-to-Layered Phase Transformation by Crystal Water. *Chem. Sci.*, 13.

Hautier, G. (2016). Prediction of New Battery Materials based on *Ab initio* Computations. *AIP Conf. Proceed., 1765*(1).

Hidayat, U., Shah, F. W., Arbab, M., Zia, U., Haq, K., Yan, L., . . . Kang, H. (2018). Electrochemical Properties of Controlled Size Mn_3O_4 Nanoparticles for Supercapacitor Applications. *J. Nanosci. Nanotechn., 18*, 719-724.

Hongqing, C. (2007). First Principle Investigation of Structure and Stability of Oxygen, Absorption and Surface Oxides Formation. *Physic. Rev., 76*.

Hu, Z., Zhang, H., Wang, H., Zhang, F., Li, Q., & Li, H. (2020). Nonaqueous Aluminum Ion Batteries: Recent Progress and Prospects. *ACS Mat. Lett.*

Huang, P.-H., Kuo, J.-K., & Huang, C.-Y. (2015). A New Application of the Ultrabattery to Hybrid Fuel Cell Vehicles. *Int. J. En. Res., 40*(2), 146-159.

Miller, P. (2015). State of the Art and Future Developments in Lithium-ion Battery Packs for Passenger Car Applications. *John. Matth. Technol. Rev., 59*(4).

Nakashima, P. N. (2018). The Crystallography of Aluminium and its Alloys. In: G. E. Totten, M. Tiryakioglu, & O. Kessler (Eds.), *Encyclopedia of Aluminum and its Alloys* (pp. 488-586). CRC Press.

Qiu, H., Bin, Y., Zhaohuai, L., & Yan, Z. (2019). Density Functional Theory for Battery Materials. *En. Environm. Mat., 2*(4), 264-279.

Rifat, F., Kamrul, H., & Veena, S. (2019). Manganese Oxide Synthesized from Spent Zn-C Battery for Supercapacitor Electrode Application. *Nature*.

Rionda, R. A., Cano, L. A., Gutiérrez, L. G., Bolaños, F. R., Higuera, A. D., & Bautista, A. L. (2016). Prospectiva de energías renovables 2016-2030. Secretaría de Energía.

Solís, A. (2020, 16 de mayo). La 4T golpea a la energía limpia y barata, pero confía en fuentes sucias y caras. *Forbes*, p. 1.

Tang, H., Sui, Y., Zhu, X., & Bao, Z. (2015). Synthesis of Mn_3O_4-based Aerogels and their Lithium-storage Abilities. *Nanosc. Res. Lett., 10*(260).

Wu, C., Gu, S., Zhang, Q., Bai, Y., Li, M., & Yuan, Y. (2019). Electrochemically Activated Spinel Manganese Oxide for Rechargeable Aqueous Aluminum Battery. *Nat. Com., 10*(73).

Xianyu, Z., Jingbin, Q., Jichun, H., Zheng, M., Yixin, C., Decheng, Z., . . . Decheng, L. (2018). A New Approach to Improve the Elechtrochemical Performance of Znmn2o4 through a Charge Compensation Mechanism using the Substitution of Al+3 For Zn+2. *RSC Adv., 8*.

Yuan, D., Zhao, J., Jr., W. M., Kumar, S., & Srinivasan, M. (2020). Emerging Rechargeable Aqueous Aluminum Ion Battery: Status, Challenges, and Outlooks. *Nano Mat. Sci., 2*(3), 248-263.

Estudio de variables aerodinámicas en un perfil utilizando mecánica de fluidos computacional

Autor: Édgar Omar Olivares Cervantes[1]
Coautores: Abraham Rodríguez Rodríguez[2]/Cynthia G. Baeza[3]
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Ingeniería en Aeronáutica
Correos: al176689@alumnos.uacj.mx[1] / al176693@alumnos.uacj.mx[2] / al113113@alumnos.uacj.mx[3]
Tutor: Arturo Paz Pérez

Resumen
El uso de la mecánica de fluidos computacional como herramienta de la ciencia ha alcanzado en el campo de la aerodinámica una madurez que la ha vuelto cada vez más frecuente y fiable en la realización de simulaciones que traen consigo grandes ahorros económicos y de tiempo. En esta investigación, se analiza mediante métodos numéricos con ayuda del *software* ANSYS el comportamiento del campo de flujo subsónico producido por el perfil alar S7075 bajo distintos ángulos de ataque. El procesamiento de los datos obtenidos, a través de este *software*, permitirá representar de manera gráfica magnitudes de interés en el perfil, tales como el Coeficiente de Levantamiento y el Coeficiente de Arrastre, junto con la visualización de los mapas de contornos de la velocidad para los diferentes casos, que nos permitirán, además, observar el desprendimiento gradual de la capa límite.

Palabras clave: perfil alarñ; mecánica de fluidos computacional; Coeficiente de Levantamiento; Coeficiente de Arrastre; capa límite.

1. Introducción

1.1 *Objetivo general*

Obtener mediante técnicas de mecánica de fluidos computacional, información de las variables del campo de flujo generado por un perfil aerodinámico bajo distintos ángulos de ataque.

1.2 *Objetivos específicos*

• Obtener, a través del manejo de datos generado por análisis numérico, los valores del Coeficiente de Arrastre en distintos ángulos de ataque.
• Obtener, a través del manejo de datos generado por análisis numérico, los valores del Coeficiente de Levantamiento en distintos ángulos de ataque.
• Visualizar el campo de velocidades generado por el perfil alar bajo diferentes ángulos de

los microplásticos (MP). Estos se definen de tamaño menor a 5 mm hasta 1 μm (Thompson, 2004; Allen *et al.*, 2019). Otros MP son creados de manera intencional con diferentes aplicaciones por su tamaño, como microesferas de plástico granulado en exfoliantes, pastas dentales, detergentes, etcétera (Bianco, & Passananti, 2020; Zhang *et al.*, 2020; Webinar, 2020).

Estudios recientemente publicados, se han enfocado en el monitoreo de MP en ecosistemas, particularmente océanos, ríos, lagos y en la atmósfera (Chen *et al.*, 2020). Incluso, se ha confirmado la presencia de MP en el cien por ciento de muestras analizadas de órganos humanos (Palou, 2020). Pero el conocimiento acerca de contaminación por MP en la atmósfera es limitado, ya que hasta la fecha solo se han detectado MP suspendidos en la atmósfera (MPSA) en algunos puntos del mundo para áreas urbanas, suburbanas y rurales, como París, Asaluy, Hamburgo, California, Londres, Dongguan, Shanghái, Pekín (Dris *et al.*, 2017; Abbasi *et al.*, 2018; Klein, & Fischer, 2019; Gaston *et al.*, 2020; Wright *et al.*, 2020; Cai *et al.*, 2017), y algunas zonas remotas, como los Pirineos franceses, glaciares de Italia y nieve del Ártico (Allen *et al.*, 2019; Ambrosini *et al.*, 2019; Bergmann *et al.*, 2019).

Justificación

La contaminación atmosférica de MP en una región está estrechamente correlacionada con actividades antropogénicas, densidad de población y niveles de industrialización (Chen *et al.*, 2020). En zonas urbanas hay mayor abundancia de MP que en áreas rurales. Ciudad Juárez es una zona industrializada con cerca de quinientas empresas manufactureras, donde sus principales procesos incluyen la producción de plástico y textiles, existe una alta población y se llevan a cabo otras actividades que probablemente liberan MP a la atmósfera, como la erosión de neumáticos, fragmentos provenientes de ropa y desgaste de muebles en el hogar, desgaste de materiales en rellenos sanitarios, entre otras (Dris *et al.*, 2017; Boucher, & Friot, 2017). Por lo que la investigación tiene respaldo empírico y es preciso llevarla a la fase práctica y de análisis.

La exposición a estos materiales, a través de las vías respiratorias, puede representar severos riesgos a la salud, hecho que hace más relevante establecer un diagnóstico. La inhalación o ingestión de los MP puede ocasionar inflamación en los tejidos y puede soltar y absorber metales, como el mercurio, monómeros pesados, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), aditivos, colorantes, pigmentos y patógenos en su superficie, representando un problema toxicológico y un componente emergente de la contaminación del aire (Chen, Feng, & Wang, 2019; Gasperi *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2020). Cabe destacar que no existen estudios previos de búsqueda y caracterización de MP en la atmósfera de Ciudad Juárez. Este desconocimiento representa una imposibilidad de salvaguardar la seguridad y salud de la población. Por ello, es de suma importancia tener un panorama inicial de cuál es la situación actual de MPSA en nuestra región.

Metodología

Área de estudio. El estudio fue efectuado en dos ubicaciones: el Laboratorio de Climatología y Calidad del Aire localizado dentro de las instalaciones del Instituto de Ingeniería y Tecnología (IIT), edificio E, de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez (UACJ), Ciudad Juárez, Chihuahua, México, con latitud 31°44.28' N, longitud 106°25.57' O y altitud de 1127 msnm para el muestreo de BA. Y, aproximadamente a 60 metros, en la Estación Meteorológica del IIT

(latitud 31°44.59' N, longitud 106°25.90' O y altitud de 1127 msnm), donde se colocó el muestreo de DAP.

Muestreo

• Deposición atmosférica pasiva (DAP): realizada del 6 al 26 de julio de 2021. Se utilizó un cilindro de acero inoxidable de un volumen de 0.8835 L, acoplado a un embudo de acero inoxidable, contenidos en una caja de madera a 1.43 m sobre el suelo, cubriendo un área de 0.0415 m^2 para la recuperación de deposición húmeda (lluvia) y seca. Se recuperaron 2 muestras trasladando el contenido a frascos de vidrio y se enjuagaron el cilindro y embudo 3 veces con agua destilada para recuperar toda la muestra. Las muestras se filtraron al vacío en filtros de microfibra de vidrio GF/A Whatman de 47 mm de diámetro y 1.6 µm diámetro de poro, los cuales se guardaron en cajas Petri previamente enjuagadas 3 veces con agua destilada.

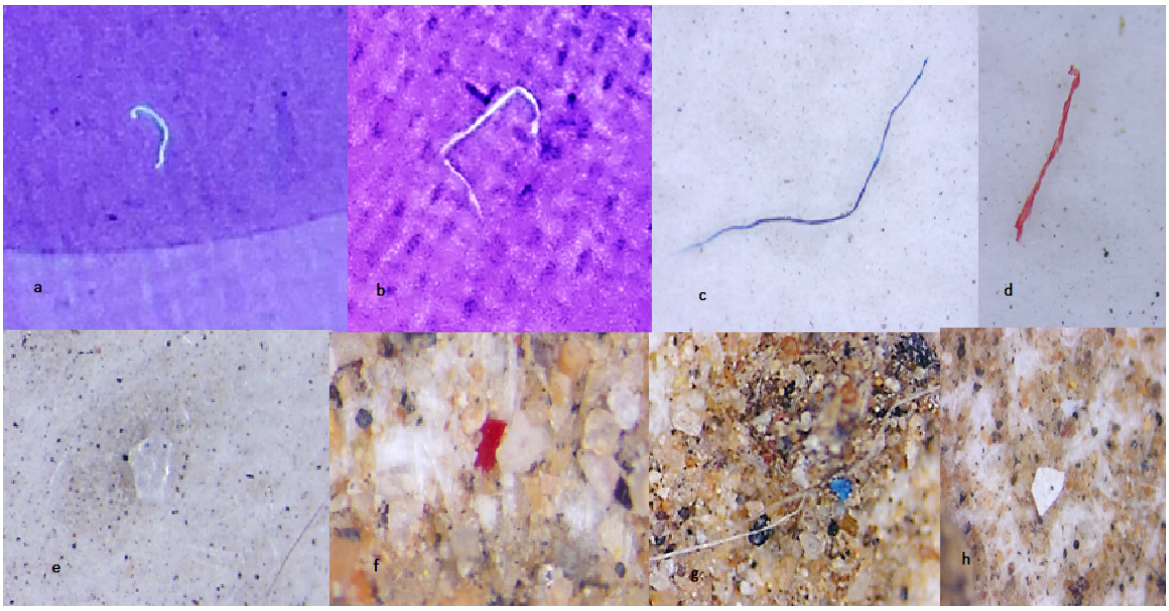
• Muestreo de bombeo activo (BA): realizada del 30 junio al 21 de julio de 2021. Se utilizó un Partisol Model 2000 Air Sampling (equipo utilizado para el monitoreo de material particulado PM_{10}) usando filtros de microfibra de vidrio GF/A Whatman de 47 mm de diámetro y 1.6 µm diámetro de poro empleando un flujo de bombeo de 16.7 L/min. Se recuperaron muestras diariamente (12 muestras) y muestras de 3 días (3 muestras). Los filtros se guardaron en cajas Petri previamente enjuagadas (3 veces) con agua destilada para evitar contaminación externa de MP.

Análisis. Los 17 filtros obtenidos del muestreo, se observaron bajo luz ultravioleta (UV) en una habitación oscura. Este tipo de luz hace visible los MP, ya que son capaces de absorber luz UV a una frecuencia de 400 a 480 nm e irradiar una luz azul o violeta brillante. Adicionalmente, se inspeccionaron bajo un microscopio estereoscópico para una observación más detallada y con el complemento de luz UV para confirmación de presencia de MP, se hizo un conteo 3 veces a 1500 µm de ampliación. Asimismo, se registró la forma de los MP. Se captaron imágenes con una cámara Axiocam 105 color acoplada al microscopio.

Resultados y discusión

En la inspección visual, se pudieron observar diversas partículas brillantes bajo la luz UV, que se confirmaron bajo el microscopio estereoscópico (figura 1). Muchas partículas correspondientes a fibras transparentes solo se pudieron observar gracias a la luz UV, siendo así posible su identificación. Los MP en filtros de la DAP fueron más difíciles de observar y contabilizar, debido a la cantidad de materia diferente a MP. Las capas de tierra o materia orgánica pudieron haber cubierto algún MP y no contemplarla en la identificación y el recuento de partículas.

Figura 1. Microplásticos bajo microscopio estereoscópico: a-b) Fibras transparentes bajo luz UV. c-d) Fibras recuperadas del BA. e) Fragmento transparente recuperado del BA. f y h) Fragmentos rojo y blanco recuperados de la DAP. g) Fragmento azul y fibra transparente recuperados de la DAP



Fuente: elaboración propia.

Se encontró un promedio de 0.5414 p/m^3 en las muestras resultantes del muestreo de BA (tabla 1). La mayor cantidad encontrada fue de 1.3921 p/m^3. Por otro lado, la cantidad de MP recabados por el muestreo de DAP resultó en 455.977 p/m^2/d, siendo la mayor cantidad 670.9916 p/m^2/d (tabla 2). En otros estudios en zonas urbanas, se han encontrado 118 (en París) y 275 (en Hamburgo) p/m^2/día (Dris *et al.*, 2015; Dris *et al.*, 2016; Klein, & Fischer, 2019) recuperados por la DAP, y hasta 602 (Yantái) p/m^2/d, por lo que se puede observar que varía dependiendo de la comparación que se le dé con otras ciudades del mundo (Zhou, Tian, & Yingming, 2017). Otros estudios que realizan BA en urbes encontraron de 0 a 4.18 p/m^3 en Shanghái y de 0.3 a 1.5 p/m^3 en París (Liu *et al.*, 2019; Dris *et al.*, 2017). En el presente estudio, el promedio se encuentra dentro de los rangos de las partículas halladas en Shanghái y París.

Las unidades reportadas de ambos muestreos no son comparables; sin embargo, el número de partículas por filtro, sí. La mayor cantidad de partículas por filtro de la DAP resultó hasta 362, mientras que para BA se registró un máximo de 47 y un mínimo de 4 y 90 para BA y DAP, respectivamente. Tal discrepancia puede estar asociada con la precipitación recuperada de la DAP, pues la lluvia favorece la abundancia de partículas encontradas (Allen *et al.*, 2019; Dris *et al.*, 2016). Además, el método de muestreo para BA recupera partículas de 10 µm, por lo que el espectro de partículas posibles a encontrar se redujo.

Tabla 1. Abundancia de MP encontrados por el método de muestreo de DAP

Núm. muestra	Núm. partículas	Volumen (m^3)	p/m^3
217	8	21.37	0.3743
218	7	21.39	0.3272
220	27	NR	NR
223	4	19.201	0.2083
224	7	NR	NR
225	8	NR	NR
226	9	20.206	0.4454
227	20	60.501	0.3305
228 Blanco	0	0	0
229	7	20.122	0.3478
230	10	20.494	0.4879
231	10	20.539	0.4868
232	25	18.923	1.3211
233	47	60.665	0.7747
234	15	20.271	0.7399
235	29	20.831	1.3921

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Abundancia de MP encontrados por el método de muestreo de BA

Núm. muestra	Núm. partículas	Área muestreada (m^2)	Días	p/m^2/día
1-DAP	90	0.0415	9	240.9638
2-DAP	362	0.0415	13	670.9916

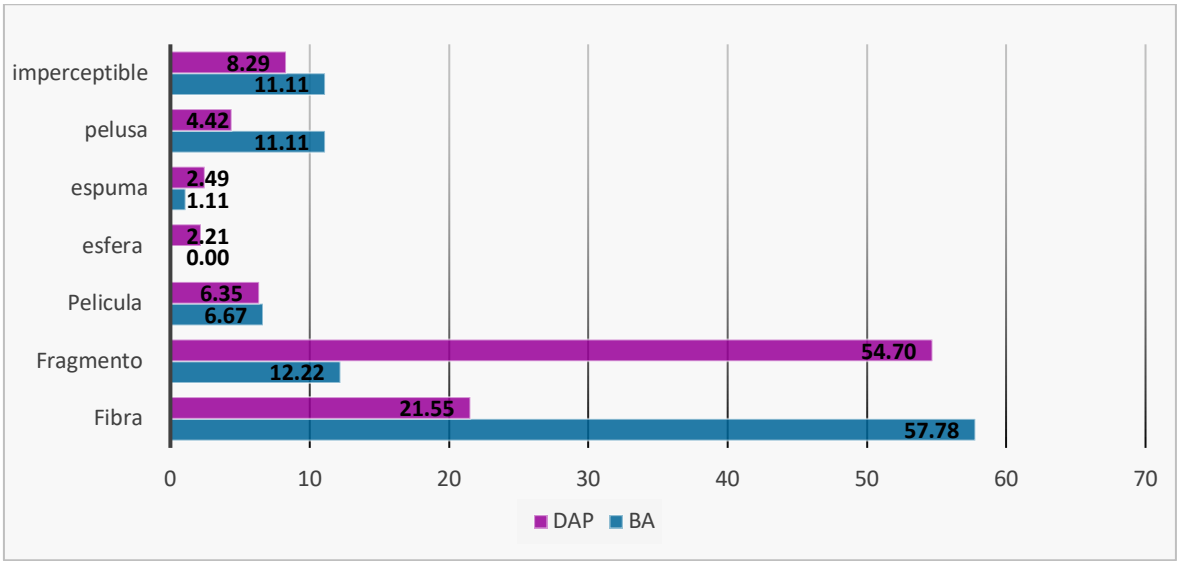
Fuente: elaboración propia.

Durante la campaña de muestreo de BA, en los días con mayor cantidad de MP se registraron vientos de 3 a 15 km/h y ninguna precipitación, y para los días donde la abundancia fue menor los vientos se registraron en un rango de 5 a 35 km/h. Las precipitaciones registradas eran en periodos muy cortos o nulos. Al analizar las variables meteorológicas parece haber una asociación con la velocidad del viento: a mayor velocidad menor será la cantidad de MP capturados. De igual manera, se requiere relacionar más factores para tener un panorama mucho más detallado de dicha relación. Por su parte, durante la recuperación de la muestra 1-DAP (9 días), hubo una acumulación de 5.8 mm de precipitación (0.64 mm/d), mientras que para la muestra 2-DAP (13 días), se acumularon 19

mm de lluvias (1.4615 mm/d), indicando que es posible que la lluvia sea un factor para una mayor abundancia de MP con el método de DAP.

En cuanto a la forma, la mayoría de las partículas encontradas por el método de muestreo DAP tuvieron una forma de fragmento (54.70 %), seguida de fibra (21.55 %). Cabe destacar que cerca del 80 % de los fragmentos encontrados eran transparentes. Las muestras recuperadas por BA revelaron, por el contrario, que la mayoría de MP se identificaron en forma de fibra (57.78 %), que principalmente eran azules y transparentes, y luego fragmentos (54.70 %) (gráfica 1). La forma de los MP puede estar asociada a su origen, la degradación, así como al tiempo que tengan en el medio (Zhang *et al.*, 2020). La forma de fibra, una de las dominantes, está asociada con la industria textil, el desgate de la ropa o la producción de fibras sintéticas (Liu *et al.*, 2019). Sin embargo, para encontrar un origen puntual, se debe rastrear considerando otros factores, como dirección del viento, actividades antropogénicas desarrolladas cerca del punto de monitoreo, entre otras.

Gráfica 1. Forma de MP registrada por métodos de muestreo DAP y BA (%)



Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los fragmentos en las muestras DAP podrían estar asociadas con desprendimientos de plástico de mayor tamaño, como degradación de infraestructura plástica dentro de la Universidad. En múltiples estudios, cerca del 60 % de MP encontrados eran fibras (Dris *et al.*, 2016; Cai *et al.*, 2017; Zhou *et al.*, 2017; Liu *et al.*, 2019). La diferencia entre la abundancia de forma proveniente de la DAP (fragmentos) podría asociarse al método utilizado.

Conclusiones

En la atmósfera de la UACJ, sede IIT, existe presencia de MP con una abundancia promedio de 0.5414 p/m^3 y 455.977 p/m^2/d por métodos de muestreo BA y DAP, respectivamente. Es

probable que la velocidad del viento influya en la abundancia de MP capturados y que la precipitación favorezca la cantidad de MP recuperados por el método de DAP; sin embargo, se deben considerar otros factores meteorológicos, como la dirección del viento, presión atmosférica o radiación solar. Las formas predominantes fueron la fibra y fragmentos que pueden provenir de plásticos más grandes dentro de la Universidad. Aun cuando es conocida la presencia de MP en la atmósfera, no está bien establecido cómo se transportan, qué rutas metabólicas siguen en seres humanos y animales, cuál es su verdadero impacto en el medioambiente y la salud, por lo que es importante considerar un monitoreo en otros puntos de la ciudad con una metodología estandarizada basada en el presente estudio.

Aportaciones

Consideraciones para mejorar la metodología y estandarizarla en un monitoreo futuro: 1) Tomar en cuenta un muestreador de BA, que no incluya un separador de partículas, para recuperar un mayor espectro de tamaños; 2) Que las muestras pasen por un proceso de digestión de materia orgánica y separación por densidad para descartar materia no plástica; 3) Usar distintos métodos de confirmación; y 4) Evitar el uso de plásticos durante la manipulación de las muestras.

Referencias

Allen, D., Le Roux, G., Phoenix, V. R., Le Roux, G., Durántez Jiménez, P., Simonneau, A., . . . Galop, D. (2019). Atmospheric Transport and Deposition of Microplastics in a Remote Mountain Catchment. *Nat. Geosci., 12*(5), 339-334. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5

Ambrosini, R., Azzoni, R., Pittino, F., Diolaiuti, G., Franzetti, A., & Parolini, M. (2019). First Evidence of Microplastic Contamination in the Supraglacial Debris of an Alpine Glacier. *Environ. Pollut., 253*, 297-301. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.07.005

Bergmann, M., Mützel, S., Primpke, S., Tekman, M., Trachsel, J., & Gerdts, G. (2019). White and Wonderful? Microplastics Prevail in Snow from the Alps to the Arctic. *Sci. Adv., 5*(8). https://doi.org/10.1126/sciadv.aax1157

Bianco, A., & Passananti, M. (2020). Atmospheric Micro and Nanoplastics: An Enormous Microscopic Problem. *Sustainability, 17*(7327), 1-17. https://doi.org/10.3390/su12187327

Cai, L., Wang, J., Peng Tan, Z., Zhan, Z., Tan, X., & Chen, Q. (2017). Characteristic of Microplastics in the Atmospheric Fallout from Dongguan City, China: Preliminary Research and First Evidence. *Environ. Sci. Pollut. Res., 24*, 24928-24935. https://doi.org/10.1007/s11356-017-0116-x

Chen, G., Feng, Q., & Wang, j. (2019). Mini-review of Microplastics in the Atmosphere and their Risks to Humans. *Sci. Total Environ., 703*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504

Chen, G., Fu, Z., Yang, H., & Wang, J. (2020). An Overview of Analytical Methods for Detecting Microplastics in the Atmosphere. *Trends Analyt. Chem.*, 130. https://doi.org/10.1016/j.trac.2020.115981

Díaz, A. (2020). Producción mundial del plástico 1950-2018. *Statista*. https://bit.ly/3ktSexh

Dris, R., Gasperi, J., Mirande, C., Mandin, C., Guerrouache, M., Langlois, V., & Tassin, B. (2017). A First Overview of Textile Fibers, Including Microplastics, in Indoor and Outdoor

Environments. *Environ. Pollut., 221*, 453-458. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.12.013

Dris, R., Gasperi, J., Rocher, V., Saad, M., Renualt, N., & Tassin, B. (2015). Microplastic Contamination in an Urban Area: A Case Study in Greater Paris. *Environ. Chem. CSIRO*. https://doi.org/ff10.1071/EN14167

Dris, R., Gasperi, J., Saad, M., Mirande-Bret, C., & Tassin, B. (2016). Synthetic Fibers in Atmospheric Fallout: A Source of Microplastics in the Environment? *Marine Pollut. Bullet., 104*(1-2). https://doi.org/ff10.1016/j.marpolbul.2016.01.006

Klein, M., & Fischer, E. (2019). Microplastic Abundance in Atmospheric Deposition within the Metropolitan Area of Hamburg, Germany. *Sci. Total Environ., 685*, 96-103. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.405

Li, Y., Shao, L., Wang, W., Zhang, M., Feng, X., Li, W., & Zhang, D. (2019). Airborne Fiber Particles: Types, Size and Concentration Observed in Beijing. *Sci. Total Environ.*, 705. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135967

Liu, K., Wang, X., Fang, T., Xu, P., Zhu, L., & Li, D. (2019). Source and Potential Risk Assessment of Suspended Atmospheric Microplastics in Shanghai. *Sci. Total Environ., 675*, 462-471.

MundoPlast (2019). Producción mundial del plástico. https://mundoplast.com/produccion-plasticos-2018/

Palou, N. (2020, 18 de agosto). La contaminación plástica también invade tejidos y órganos del cuerpo humano. *La Vanguardia*. https://bit.ly/3A5nk5c

Thompson, R. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science, 304*(5672), 838-838. https://doi.org/10.1126/science.1094559

Zhang, Y., Shichang, K., Allen, S., Allen, D., Tanguang, G., & Sillanpää, M. (2020). Atmospheric Microplastics: A Review on Current Status and Perspectives. *Earth-Sci. Rev., 203*. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2020.103118

Zhou, Q., Tian, C., & Yingming, L. (2017). Various Forms and Deposition Fluxes of Microplastics Identified in the Coastal Urban Atmosphere. *Chin. Sci. Bullet., 62*, 3902-3909.

Estudio de variables aerodinámicas en un perfil utilizando mecánica de fluidos computacional

Autor: Édgar Omar Olivares Cervantes[1]
Coautores: Abraham Rodríguez Rodríguez[2]/Cynthia G. Baeza[3]
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Ingeniería en Aeronáutica
Correos: al176689@alumnos.uacj.mx[1] / al176693@alumnos.uacj.mx[2] / al113113@alumnos.uacj.mx[3]
Tutor: Arturo Paz Pérez

Resumen
El uso de la mecánica de fluidos computacional como herramienta de la ciencia ha alcanzado en el campo de la aerodinámica una madurez que la ha vuelto cada vez más frecuente y fiable en la realización de simulaciones que traen consigo grandes ahorros económicos y de tiempo. En esta investigación, se analiza mediante métodos numéricos con ayuda del *software* ANSYS el comportamiento del campo de flujo subsónico producido por el perfil alar S7075 bajo distintos ángulos de ataque. El procesamiento de los datos obtenidos, a través de este *software*, permitirá representar de manera gráfica magnitudes de interés en el perfil, tales como el Coeficiente de Levantamiento y el Coeficiente de Arrastre, junto con la visualización de los mapas de contornos de la velocidad para los diferentes casos, que nos permitirán, además, observar el desprendimiento gradual de la capa límite.

Palabras clave: perfil alarñ; mecánica de fluidos computacional; Coeficiente de Levantamiento; Coeficiente de Arrastre; capa límite.

1. Introducción

1.1 *Objetivo general*

Obtener mediante técnicas de mecánica de fluidos computacional, información de las variables del campo de flujo generado por un perfil aerodinámico bajo distintos ángulos de ataque.

1.2 *Objetivos específicos*

• Obtener, a través del manejo de datos generado por análisis numérico, los valores del Coeficiente de Arrastre en distintos ángulos de ataque.
• Obtener, a través del manejo de datos generado por análisis numérico, los valores del Coeficiente de Levantamiento en distintos ángulos de ataque.
• Visualizar el campo de velocidades generado por el perfil alar bajo diferentes ángulos de ataque.
• Cuantificar el C_L máximo y mínimo.

• Cuantificar el C_D mínimo y máximo.
• Visualizar el comportamiento del desprendimiento de la capa límite en el perfil en función del ángulo de ataque.

1.3 *Marco teórico*

1.3.1 Mecánica de fluidos computacional

A mediados del siglo XX, junto con el desarrollo temprano de la computación digital, el estudio de los fluidos dejó de limitarse a las descripciones analíticas y experimentales, para comenzar a adoptar la mecánica de fluidos computacional como nueva metodología para la descripción cuantitativa de diversos campos de flujo. Esta rama de la mecánica de fluidos resuelve mediante métodos numéricos, a través de una computadora, las descripciones matemáticas dadas por las ecuaciones basadas en los principios de conservación; que en su forma discretizada nos permiten obtener un conjunto de números que representan la magnitud de las variables de interés a lo largo del flujo (Anderson, 1995).

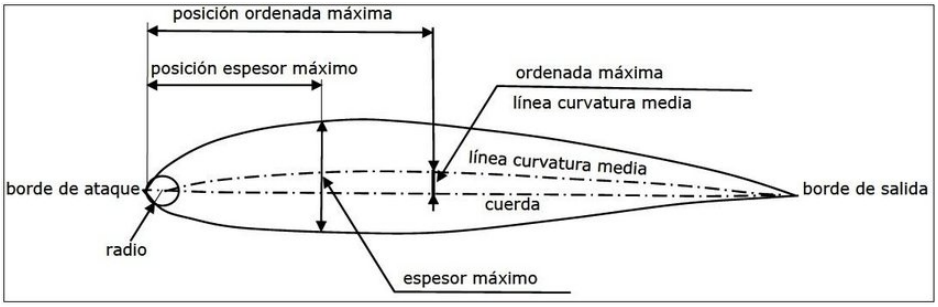
1.3.2 El perfil alar

Los estudios dedicados a la aeronáutica tuvieron desde el comienzo una atención especial por la eficiencia de las alas en el vuelo. Para reducir el trabajo que implica estudiar un ala entera, se modela en su lugar una sección obtenida de trazar un plano perpendicular en algún punto a lo largo del ala; a esto se le conoce como perfil alar (Anderson, 2009).

1.3.3 Componentes del perfil alar

A manera de regular y facilitar el diseño, se estableció una nomenclatura que permite construir los perfiles, de acuerdo con las necesidades. Algunos de los parámetros más representativos pueden apreciarse en la ilustración 1.

Ilustración 1. Nomenclatura básica del perfil alar



Fuente: elaboración propia.

1.3.4 Variables aerodinámicas

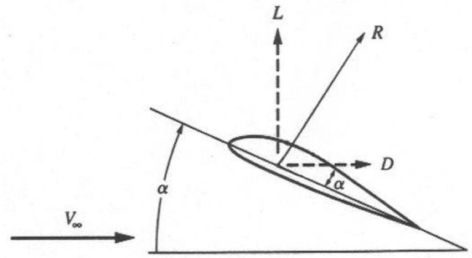
1.3.4.1 Ángulo de ataque, presión y flujo viscoso

Suponiendo que existe un flujo de aire llamado *viento relativo*, que incide en la zona del borde de ataque del perfil, en lugar de que sea este el que avance, como sería en la realidad, el ángulo formado entre la cuerda del perfil y el viento relativo es definido como el *ángulo de ataque*. Al influir este en todas las demás características del desempeño del perfil durante su operación, se definen a partir de él diversas cantidades para representar, por ejemplo, las

condiciones en las que el perfil entra en pérdida, es decir, deja de producir sustentación (Anderson, 2015).
La *presión* puede ser definida como la fuerza normal por unidad de área ejercida en una superficie, debido a la tasa de cambio del momento de las moléculas del fluido que están en contacto con la superficie (Anderson, 2009). A partir de esta definición podemos deducir la relación directa que existe entre el cambio de la velocidad del flujo en ciertas regiones con el gradiente de presiones generado por el mismo.
En este estudio, además, son indispensables las consideraciones del *flujo viscoso*, que, al contrario de la idealización de flujo no-viscoso, considera los efectos de la fricción entre el flujo de aire y la superficie del perfil. En un caso real para cualquier objeto lo suficientemente aerodinámico, existe una delgada región de flujo retardado entre el flujo de aire y la superficie del objeto conocida como *capa límite*. Esta zona es producto de la fricción inmediata entre el flujo y la superficie, que tiene como resultado una velocidad de magnitud 0 (Anderson, 2015).

1.3.5 Fuerzas y momentos aerodinámicos
Como es de esperarse, gradientes de velocidad y de presión, debido al flujo, ya sea laminar o turbulento, tienen efectos significativos en el perfil. Tienen como resultado la manifestación de fuerzas cuyas magnitudes pueden ser conocidas en función de algunas de las variables ya mencionadas. Las dos causas principales de las fuerzas que serán descritas más adelante son las distribuciones de presión y de esfuerzos cortantes, debido al flujo viscoso en el perfil (Anderson, 2009).
Se pueden reducir las fuerzas en el perfil en la fuerza resultante aerodinámica (R), junto al momento (M) generado en dirección horaria, en el caso de la ilustración 2. Sin embargo, es conveniente descomponer la fuerza R en sus componentes rectangulares: la sustentación L, que es perpendicular al viento relativo (V_∞) y el arrastre (D) paralelo al mismo.

Ilustración 2. Fuerzas generadas en un perfil



Fuente: elaboración propia.

1.3.6 Coeficientes de Arrastre y de Sustentación
Por último, a manera de extender el estudio de las características del perfil, se suele recurrir a parámetros adimensionales conocidos como *Coeficiente de Arrastre* (C_D) y *Coeficiente de Sustentación* (C_L).
Definiendo la presión dinámica como: $q = \frac{1}{2}\rho V^2$, donde ρ es la densidad y V, la velocidad del flujo; ambas medidas en un punto. Se define a los Coeficientes de Arrastre y de Sustentación como:

$$C_D = \frac{D}{qS}; C_L = \frac{L}{qS}$$

Donde D y L son las fuerzas de arrastre y sustentación, y S representa la longitud o la superficie característica de la geometría (Anderson, 2009).

2. Desarrollo

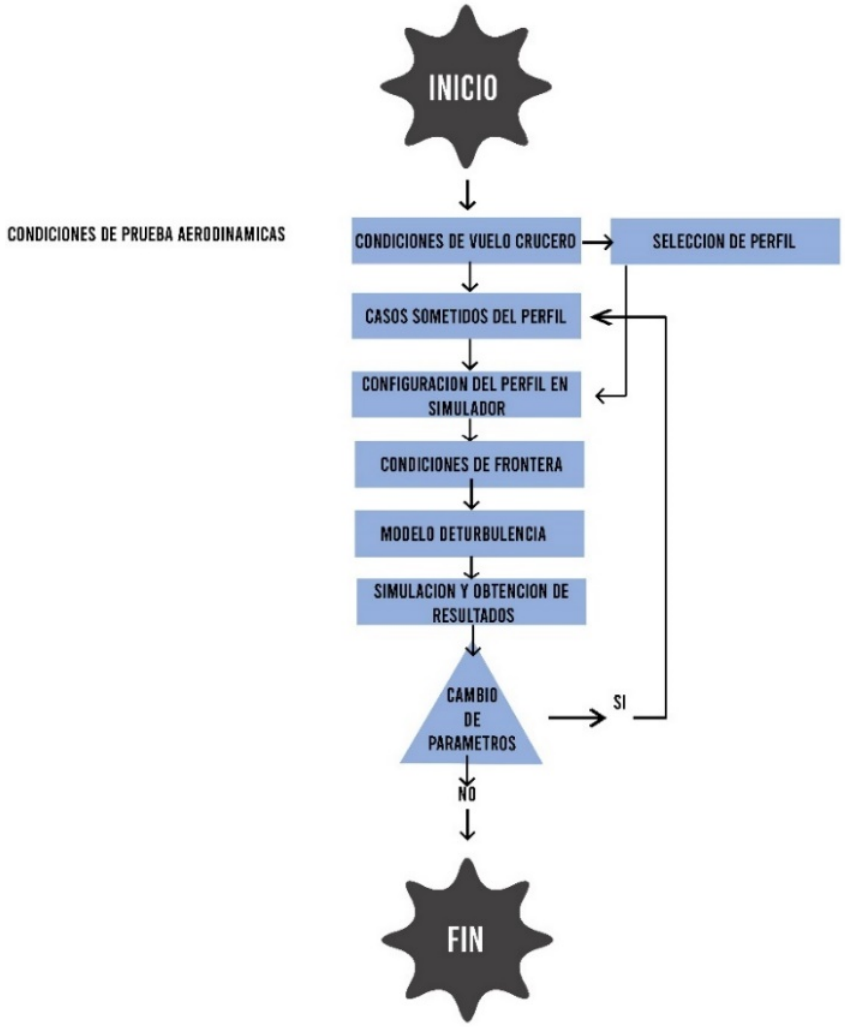
2.1 *Justificación*

El estudio del perfil alar en diferentes ángulos de ataque nos permite conocer el comportamiento de los Coeficientes de Levantamiento y Arrastre, con la finalidad de encontrar el ángulo crítico donde se genera mayor arrastre y comienzan los efectos de turbulencia en el borde de salida, y la capa límite se desprende de manera súbita del perfil ocasionando una pérdida de sustentación. El conocimiento de estos parámetros nos permite realizar en un futuro cambios de diseño basados en la optimización, así como una comparación del comportamiento aerodinámico entre perfiles, dando oportunidad a la elección de un perfil aerodinámico adecuado para nuestro diseño, con el fin de optimizar la eficiencia, la capacidad de carga y el aumento de rangos de vuelo en casos específicos.

2.2 *Metodología*

La metodología que se ha utilizado en el proyecto consta del preprocesado, el cálculo y el posprocesado; empezando por los parámetros a los cuales fue sometido el perfil alar con una velocidad del viento de 60 km/h y un equivalente aproximado de 15 m/seg. Considerando condiciones a nivel del mar, la temperatura de 15 °C, una presión de 1013.25 hPa y una densidad de 1.225 kg/m^3. Continuando, los casos a los que se someterán serán una variedad de configuraciones, las cuales constan de cambiar el ángulo de ataque en tres casos: a 0, 10 y 15 grados, sin olvidar que el modelo elegido para estas simulaciones computacionales será el perfil alar S7075. Luego, se simularán las condiciones que hemos mencionado donde procederemos a establecer las condiciones de frontera “7-13” de túnel del viento con un modelo de turbulencia k-ω, y tomando esto en cuenta procedemos a simular para obtener los valores de los Coeficientes de Arrastre y de Sustentación (Gutiérrez, 2018).

Ilustración 3. Diagrama de flujo de la metodología aplicada



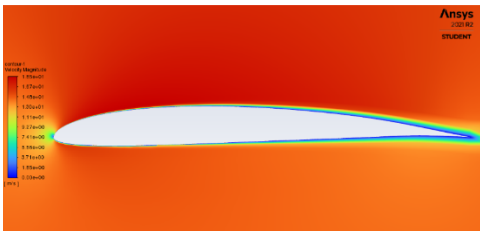
Fuente: elaboración propia.

2.3 *Resultados*

Existen varios tipos de entrada en pérdida de los perfiles alares. Una de ellas es cuando la entrada en pérdida de la capa límite llega al borde de salida sin todavía desprenderse en ningún momento de la superficie alar, logrando con ello que las burbujas de recirculación no se produzcan. Por ende, se observa una linealidad en la fuerza de sustentación cuando utilizamos un ángulo de ataque que no varía. Cuando este ángulo de ataque varía puede llegar a ser lo suficientemente alto (ángulo crítico) ocasionando que la capa límite se desprenda de los extradoses del perfil, lo cual avanza hacia el borde de ataque, según el aumento de ángulo, dando como resultado la entrada en pérdida. Mientras tanto, la presión en los extradoses obtiene un comportamiento constante en cierto punto del desprendimiento, por lo que desde este mismo hasta el más lejano también el Coeficiente de Arrastre lo es. La otra pérdida se presenta cuando la capa límite es aún laminar, y cuando el punto máximo que desarrolle la fuerza de arrastre es muy alto, la corriente tenderá a desprenderse localmente para darse

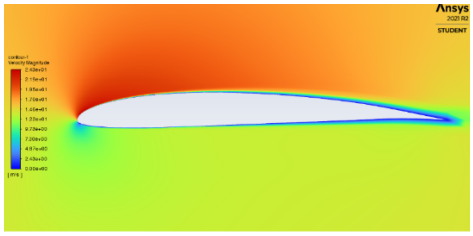
paso. Dentro de la mencionada zona, se generó un espacio de recirculación donde la presión por debajo es constante, lo que puede ser apreciado en la distribución del Coeficiente de Arrastre. En este caso, al momento de hacer un incremento del ángulo de ataque, la cavidad o zona se hace más pequeña generando su desplazamiento desde el borde atacante de la figura aerodinámica hasta que el propio ángulo sea tan alto que la cavidad o burbuja estalle, porque la corriente no fue capaz de readherirse, produciendo con esto una pérdida muy brusca de la sustentación, ya que la corriente en el extradós del perfil quedó completamente desprendida.
Al variar los ángulos de ataque del perfil s7075, podemos apreciar este tipo de pérdidas en las siguientes simulaciones:

Ilustración 4. Perfil s7075 con ángulo de ataque situado en 0°



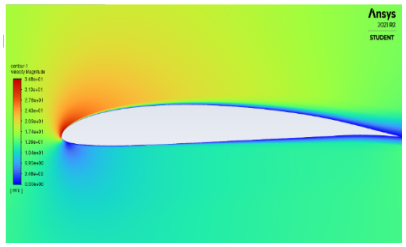
Fuente: *elaboración propia.*

Ilustración 5. Perfil s7075 con ángulo de ataque situado en 5°



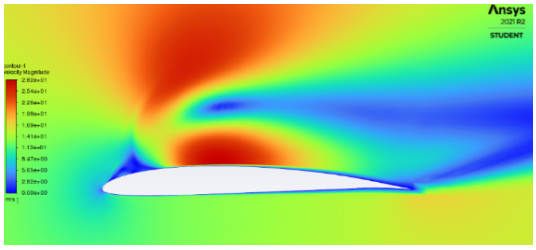
Fuente: elaboración propia.

Ilustración 6. Perfil s7075 con ángulo de ataque situado en 10°



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 7. Perfil s7075 con ángulo de ataque situado en 15°



Fuente: elaboración propia.

Tabla 1. Comparación de AOA con Coeficientes de Levantamiento y de Arrastre

Ángulo de ataque	Coeficiente de Levantamiento	Coeficiente de Arrastre
0	.373	.01473
5	.025	.0200
10	.045	.0350
15	Inestabilidad	Inestabilidad

Fuente: elaboración propia.

Podemos observar en la tabla de resultados (tabla 1) que hasta cierto ángulo de ataque, se observan Coeficientes de Levantamiento y de Arrastre donde corresponden los valores, dado que a mayor ángulo de ataque más fuerza de sustentación se generará y se obtendrá un mayor Coeficiente de Arrastre. Logramos ver un comportamiento normal y que al llegar a cierto ángulo de ataque estaremos en un punto de no-sustentación, donde el perfil aerodinámico no cumple con su objetivo principal.

3 Conclusiones

3.1 *Discusión*

En este estudio, se obtuvieron resultados aceptables para ángulos desde 0 a 10 grados, donde los coeficientes son aceptables. Para los casos en donde el desprendimiento de la capa límite es más evidente, se requiere una estructuración de la malla más cuidadosa con el fin de obtener mejores mediciones.

En este caso, la calidad de la malla toma un papel importante en la resolución del campo de flujo alrededor del perfil s7075.

3.2 *Aportaciones*

El estudio realizado nos permite entender mediante lo más esencial cómo es que se comporta un perfil alar al someterlo a distintos ángulos de ataque. El perfil utilizado aquí puede ser implementado en una aeronave no tripulada con los ajustes correspondientes. Sin embargo, existe la posibilidad de realizar simulaciones con flujos más complejos, lo que extiende el uso de este tipo de estudios a diversas áreas de la ingeniería; teniendo un impacto directo en el desarrollo tecnológico no solamente reduciendo el uso de recursos experimentales, sino también ofreciendo la alternativa de poder simular antes de traer un modelo a la vida.

4 Referencias

Anderson, J. D., Jr. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. McGraw-Hill.

----- (2009). *Fundamentals of Aerodynamics* (McGraw-Hill Series in Aeronautical and Aerospace Engineering).

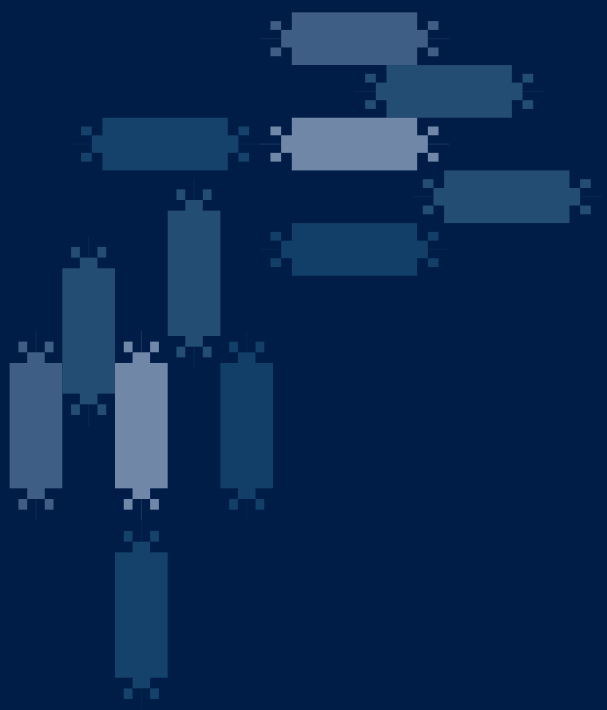
----- (2015). *Introduction to Flight* (8th Ed.). McGraw-Hill Education.

Chadid Gutiérrez, M. A. (2018). Análisis aerodinámico mediante dinámica de fluidos computacional de un vehículo eléctrico utilitario.

Davidson, P. A. (2015). *Turbulence: An Introduction for Scientists and Engineers* (2nd Revised Ed.). Oxford University Press.

Traub, L. W., & Cooper, E. (2008). Experimental Investigation of Pressure Measurement and Airfoil Characteristics at Low Reynolds Numbers. J*. Aircraft, 45*(4), 1322-1333. https://doi.org/10.5214/1.34769

ÁREA VIII.
ARTES



El lenguaje y la música rarámuri en el ritual Yúmare

Autor: Roberto Gómez Monjaraz
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Producción Musical
Correo: al169261@alumnos.uacj.mx
Director de proyecto: Mtro. Darío Escobedo

Resumen
Este proyecto intenta encontrar similitudes entre el lenguaje rarámuri y su composición musical. Para llevar a cabo el análisis, se documentó a través de grabaciones de audio el uso del lenguaje rarámuri y un canto ritual llamado Yúmare el día 19 de marzo de 2021 realizado en el pueblo de Cusárare, Chihuahua, durante la Fiesta de San José. Posteriormente, se hizo una comparación rítmica y melódica de la música y uso del lenguaje buscando patrones que coincidieran en ambos casos. El proyecto obtuvo dos productos: una investigación y un audio documentales de veintisiete minutos, donde se encuentran la melodía y las conversaciones utilizadas para buscar las similitudes. El producto de audio fue creado para preservar esta melodía ritual.

Palabras clave: lenguaje; música; rarámuri; similitudes; documental.

Antecedentes
Fiske ha identificado tres tipos de teorías de la cognición musical: teorías psicoacústicas que explican el comportamiento musical respecto a los mecanismos implicados en la actividad perceptiva auditiva; una de estas describe aquellos que asumen la presencia de protocolos gramaticales similares al lenguaje subyacentes a la construcción mental de patrones musicales (citado en: Callaghan, & McDonald, 2002, p. 208).

Aunque se intenta buscar diferencias en la composición afectada por el lenguaje rarámuri en particular, hay estudios en los que se encuentran similitudes entre los distintos lenguajes y cómo esto tiene, a su vez, similitudes con la música, ya que existe

> la idea de una correspondencia entre el contorno de tono ascendente-descendente general en las oraciones habladas y la subdivisión clásica de la melodía en la música de Europa occidental que se puede dividir en dos partes: una “pregunta”, que generalmente termina en una quinta, y una “respuesta”, siguiendo un patrón resolutivo hacia la tónica. (Romano, 2002, p. 325)

Tras realizar pruebas con audios en donde se hacían afirmaciones, o preguntas, o en ciertos casos la afirmación no daba respuesta, el estudio concluye que aunque no sepamos comprender otros idiomas en muchos persiste la idea de resolución y tensión que nos ayuda a saber si se está haciendo una interrogante, una afirmación o, incluso, es posible detectar cuando alguien aún no termina su idea, por lo que Romano (2002) comenta:

> Afirmamos, y los resultados de nuestros experimentos probaron parcialmente, que una experiencia común de patrón ascendente-descendente, así como de esquemas de resolución de tensión, proporciona pistas sólidas a los oyentes en vista de la identificación de la completitud semántica. (Romano, 2002, p. 335)

Un estudio acerca del ritmo lingüístico, se dio a la tarea de comparar dos idiomas diferentes, a lo que Patel y Daniele (2002) afirman que siguieron "la hipótesis de que la música refleja la prosodia lingüística al centrase en el habla y la música", comparando el lenguaje de dos países con ritmos distintos que son Gran Bretaña y Francia, en donde se habla sobre la gran diferencia entre estos lenguajes: uno cronometrado por el estrés y el otro, por las sílabas, respectivamente, donde "Encontramos que la música clásica inglesa y francesa ha diferentes valores de NPV ('Índice de variabilidad por pares normalizado' por sus siglas en ingles), y que esta diferencia está en la misma dirección que la observada para el idioma" (Patel, & Daniele, 2002, p. b42).

En otro estudio basado en investigaciones como las de Patel y Daniele, se compara la rítmica lingüística del inglés británico y el alemán con el *scotch snap*, una célula rítmica que predomina en la música escocesa, a lo que concluyen: "nuestro estudio proporciona, por tanto, pruebas adicionales a la idea general de que el ritmo lingüístico es un factor importante en la formación del ritmo musical" (Temperley, & Temperley, 2011). Dentro de la música comercial, se puede encontrar el disco *Yúmare* (1984), de Tino Contreras, donde hace un tributo a los rarámuris revelando las similitudes que encuentra entre el lenguaje jazzístico y el lenguaje musical de esta cultura. En una entrevista realizada por Pablo Iván Argüello González a Tino Contreras, se habla al respecto sobre el ritmo y el habla:

> Por ejemplo, hay unos "beats" (ritmos) que los tarahumaras te enseñan: -tiqui/tiqui/toc/toc- (simulando el golpeteo en una mesa de madera) ¿me entiendes? (vuelve a hacer el mismo golpeteo dos veces) [...]es una simbiosis que se crea entre los agudos, los graves y los centrales. (Argüello, 2014)

El ritual dancístico Yúmare

Para realizar un correcto análisis en donde se pueda encontrar alguna relación entre el lenguaje de la música, se recomendó delimitar el objeto de estudio a un ritual en específico, puesto que las variantes del lenguaje son tantas que si se intenta analizar la música de una región con el lenguaje hay grandes diferencias que dificultarían el análisis y el estudio. El objeto de estudio se delimitó al ritual dancístico Yúmare por ser uno de los más efectuados a lo largo del año, basado en el texto de Ángel Acuña Delgado (2010), Yúmari/Tutuburi: danzar para no morir, en el que se describe el ritual de la siguiente manera:

"Básicamente la estructura del yúmari o tutuburi posee en la actualidad dos partes: el sacrificio y la ofrenda continuadas con la danza y el canto, y el posterior comensalismo y libación de tesgüino" (Acuña, 2010), del cual se utilizará únicamente la parte dancística como objeto de estudio. Para iniciar la parte dancística del ritual

> el wakiráame recibe del casero la sonaja o sáuraka, acuerda con él el número de piezas que bailará, y entra en el patio (awirachi) saludando a la cruz, dando las preceptivas vueltas a su alrededor (con carácter variable), deteniéndose en cada uno de los puntos cardinales por el orden: este, oeste, norte, sur; para girar sobre sí 360 grados de una a tres veces, agitando la sonaja en alto en uno y otro sentido. (Acuña, 2010)

Con esto ha comenzado el ritual. Después llega la hora del canto:

> Al mismo tiempo que el wakiráame hace sonar su sonaja, emite sonidos con la boca a modo de sonsonete un tanto ininteligible. Al decir de alguno, en el pasado sí existía un canto propiamente dicho con mensaje distinguible, sin embargo, la falta de habilidad de muchos para improvisar letras, y la necesidad de disponer de cantadores hizo que los menos diestros empezaran a hacer una sola melodía con un leve canturreo poco exigente técnicamente, aunque sí cargado de intencionalidad. (Acuña, 2010)

Esto es particularmente un beneficio a favor de la investigación. Si el sonsonete tuviera letra no serviría para el análisis, puesto que ya se presentaría condicionado por la misma; en cambio, al ser una melodía casi totalmente improvisada permite buscar rasgos del lenguaje sin la condición misma de este comparada con una melodía instrumental.

Justificación

El objetivo de este proyecto es documentar la música de un ritual rarámuri llamado Yúmare mediante la producción de un material discográfico en el que se haga uso de la palabra y la música rarámuri, para así comparar y buscar similitudes entre el lenguaje y su composición musical.

Este proyecto afecta desde la comunidad rarámuri con la documentación de uno de sus rituales y música tradicional hasta sectores del estado de Chihuahua en torno a la etnomusicología, compositores y músicos en general que quieran conocer una parte de la tradición musical de la entidad chihuahuense. Es un proyecto que busca similitudes entre el lenguaje y la música dentro en un espectro delimitado de la música rarámuri y el lenguaje de algunos integrantes de esta comunidad, el cual va dirigido a personas relacionadas al ámbito académico de la etnomusicología y a quienes se dedican analizar y estudiar rituales y aspectos relacionados con la música de los pueblos rarámuris. También está dirigido a los compositores, ya sea en el ámbito académico o comercial, que buscan integrar a su propia música células rítmicas y elementos característicos de la música del ritual Yúmare del pueblo rarámuri.

Producción del material discográfico

El 24 de febrero de 2020 en Cusárare, Chihuahua, con el señor Calixto Batista, se pudo realizar una entrevista donde se recabaron los siguientes datos: el ritual solo puede ser interpretado por cantadores reconocidos por el gobernador y el pueblo; el ritual solo puede ser realizado en fiestas; el gobernador es quien asigna al cantador y este es elegido durante las asambleas del pueblo. La próxima fiesta en la que se incluirá el ritual de Yúmare sería el 19 de marzo del presente año, por lo que se quedó a la espera de confirmación mediante mensaje o llamada telefónica de Calixto Batista. Por último, en esta visita se conoció el lugar donde se llevaría a cabo el ritual: la iglesia del pueblo Misión de Cusárare.

Para la grabación se utilizaron micrófonos similares a los propuestos desde un principio: un micrófono de la marca Shure modelo Beta 91A, un par de micrófonos cardioides de la marca Yamaha, para un microfoneo usando la técnica llamada “XY”, y cuatro micrófonos de condensador con patrón polar supercardioides.

Se tomó la decisión de hacer una mezcla biaural, que es una técnica en la que, al escuchar con audífonos, se intenta dar espacialidad y simular los resultados obtenidos con algunos sistemas como el cuadrafónico o el sonido *surround*. Para esta técnica, se utiliza un *plug-in*; en este caso, uno llamado Oculus Spatializer, el cual es gratuito. Para funcionar lo que se hace es ubicar la fuente de sonido (en este caso, cada uno de los *tracs* grabados), siendo cada micrófono diferente en la posición que se quiera escuchar. Después de la mezcla, se mandó masterizar el audio con Sergio

Gómez Monjaraz, quien dio retroalimentación sobre la mezcla y, tras corregir, se procedió al máster final.

Resultados

Audio documental

El material discográfico resultó en un audio documental con una duración de veintisiete minutos, donde se incluyen partes de una entrevista a Calixto Batista acerca del ritual Yúmare; una conversación en la fogata grabada durante el ritual, en el que algunos señores del pueblo de Cusárare platican usando el lenguaje rarámuri; y tres intervenciones del *wakiráame* o cantador, José Victoriano.

Análisis de lenguaje y la música

Para el análisis del lenguaje, se tomaron dos audios: primero, la plática en la fogata donde los señores del pueblo conversan, y segundo, la entrevista a Calixto Batista, donde él platicaba usando el lenguaje rarámuri y después lo hacía en español. Para la comparación con la música, se decidió escribir en notación musical las frases que mejor se entendían dentro de los audios y la melodía hecha por el *wakiráame* en el ritual. Se recortó en fragmentos para separar cada una de las frases hechas por cada persona, de lo cual salieron veinte fragmentos de frases y la notación de la melodía.

Para transcribirlos a notación musical, se utilizó el *plug-in* Melodyne y una herramienta de Ableton Live, que convierte la melodía de un audio en MIDI; sin embargo, por la calidad de cada audio y el hecho de que no solo se escucha la voz, los MIDI que resultaban eran poco parecidos a la melodía de la voz; además, contenían tantas notas que no se podían reconocer, así que manualmente se fue editando cada uno de los MIDI, para posteriormente introducirlos al programa de notación musical MuseScore, donde resultaron las partituras del Anexo 1, que son las frases del audio "Plática en la fogata"; el Anexo 2, con los dos audios de la entrevista a Calixto Batista; y el Anexo 3, con la melodía y ritmos del canto del ritual. Ahí podemos encontrar la notación de cada uno de los audios; además, se adjunta con este archivo una carpeta que contiene cada uno de los fragmentos en dos versiones: una original y otra en la que se agrega el sonido de la notación MIDI.

Comparación del lenguaje y la música del ritual

La comparación entre el lenguaje puede llegar a verse limitada, puesto que el cantador solo se sabía un sonsonete compuesto por tres melodías muy parecidas entre sí, por lo que, lamentablemente, no se pudo conseguir grabar más melodías. Otro problema es que las frases y el lenguaje son observados desde un punto de vista etnocéntrico, por lo cual será casi inevitable compararlo con el español, además de que no se conoce el lenguaje rarámuri, por lo que este será un análisis meramente musical buscando similitudes en las melodías y el ritmo, sin prestar atención a las palabras y su significado.

Antes de exponer las similitudes encontradas, se describirán algunas observaciones generales acerca del lenguaje rarámuri en los audios anteriormente descritos. Primero, se toman como una frase las melodías donde no hay un silencio mayor a un segundo; además, el lenguaje rarámuri parece seguir el contorno ascendente y descendente que presentan otros, como el español, donde se concluye con una melodía descendente y las frases suelen ser cortas, aunque algunos audios son largos con más de tres frases dichas por una persona y casi siempre son intervenciones cortas, incluso de solo una palabra, e inmediatamente se recibe una respuesta. Asimismo, algo que se encontró particularmente especial es que se pueden llegar a escuchar como si hablaran usando *staccatos*, como en los audios del 1 al 3 o del 11 al 15; en algunos casos por la pronunciación de letras, como la "c" o "p", y en algunos otros en la frase completa.

En cuanto a la melodía del ritual en general, se pueden describir como melodías mayormente descendentes, donde solo al principio ascienden e inmediatamente comienzan a descender y concluyen en notas por debajo de la nota inicial. En el ritmo, se encuentran cuatro diferentes variantes en donde se marcan, sobre todo, corcheas. Un ritmo particular se siente como asincopado, pero, al contrario de la síncopa, en donde de los dos golpes más cercanos el segundo tiene el acento, en este se crea en el primer golpe. Aunque no siempre se siente así son ciertos momentos en los que así lo hacen cuando otro ritmo parecido se llega a escuchar donde se mezcla esta síncopa con otro ritmo de semicorcheas.

Similitudes entre el lenguaje y la música

Se encontraron dos similitudes entre las melodías del cantador y el fraseo del lenguaje capturado. La primera es melódica, como se puede ver en la imagen sobre esta. La tercera melodía concluye con un patrón melódico de tres notas: la primera, un Reb que sube a Lab, para volver a bajar a Fa; aunque al hablar no se llega a hacer esta misma melodía, al terminar frases como las del audio 1 después del último silencio, sí se puede ver un contorno donde la melodía sube y luego baja, similar a la del cantador. De igual manera, en el audio 3, al final, se puede apreciar este mismo patrón: después del último silencio largo de blanca tiende a iniciar abajo, sube y luego tiende a bajar mínimo a donde empezó. Esto se puede en la mayoría donde, por lo menos, se inicia abajo, sube una segunda y baja a donde mismo, como en el audio 17; y en otros casos un poco más marcado, como en el audio 11, donde el salto hacia arriba es de una quinta, al igual que la melodía del Yúmare, pero al concluir baja más de donde inició.

La segunda similitud se encuentra en el ritmo, pues en él los patrones atresillados con combinaciones de negra-corchea o corchea-negra, se pueden identificar en las melodías de las frases, ya sea igual o en dos corcheas divididas por un silencio del mismo valor. Esto lo encontramos en los audios 1, 4, 8, 12, 13, 15 y 20; incluso, se pueden llegar a escuchar patrones rítmicos constantemente, aunque con otros valores, ya sea a ritmo de una semicorchea, acompañada de una corchea con puntillo o valores proporcionales, donde se llega a sentir sincopado al hablar, tal como se siente la sonaja en el ritual.

Conclusiones

En cuestiones de producción, el presupuesto inicial fue rebasado, porque al realizar todo en papel no se consideró el transporte dentro de la sierra y la región de Creel, que es una zona turística, pero no existe transporte público para trasladarse de un pueblo a otro, por lo que los taxis son excesivamente caros al tener que mover el equipo, por lo que fue necesario un presupuesto de veinte mil pesos de los treinta mil estimados, que se gastaron nada más en esta actividad, sin contar las numerosas veces que se tuvo que viajar porque en el pueblo de Cusárare no hay señal telefónica y los contactos que se encontraron no cuentan con otra forma de comunicación más que el ir y visitarlos. Otro problema de comunicación crucial para la elaboración del proyecto fue que los habitantes del pueblo de Cusárare, y en general el pueblo rarámuri, suelen ser celosos de su cultura, por lo que se niegan a compartir su lenguaje; un ejemplo es que el *wakiráame* José Victoriano se negó a ser entrevistado y hablar en su lengua, además de dar respuestas muy cortas.

Sin embargo, se logró documentar la parte dancística y musical del ritual Yúmare, aunque se esperaba que el *wakiráame* conociera más melodías. El número limitado de estas no permite afirmar con certeza si existe una relación concreta entre el lenguaje y la música, pues lo encontrado solo aplica al ritmo y melodía de una sola composición. En realidad deberían ser más las referencias de muestra para poder comprobar que los patrones rítmicos y la melodía conclusiva tienden a repetirse en otras melodías, en otra música.

Otro de los objetivos es presentar motivos musicales que puedan ser empleados en la composición musical con lo cual se entrega el uso de *staccatos* en la voz, que no sonaría natural en

nuestro lenguaje, dándole un diferenciador a la música compuesta a partir de estas ideas. A su vez, el uso de la síncopa con el acento al principio podría llegar a llamar la atención al ser algo nuevo en nuestra música; por lo que se plantea que la búsqueda de la relación entre el lenguaje y la música se siga investigando, recabando un mayor número de muestras de composiciones melódicas, otros ritmos y el uso del lenguaje, para poder encontrar más motivos melódicos y rítmicos o para descartar una relación entre ambos sistemas de comunicación.

Referencias

Acuña Delgado, Á. (2010). Yúmari/Tutuburi: danzar para no morir. *AIBR. Rev. Antropol. Iberoam., 5*(1), 58-93.

Argüello González, P. I. (2014). De la etnomusicología a la antropología. Música rarámuri y jazz. Escuela Nacional de Antropología e Historia.

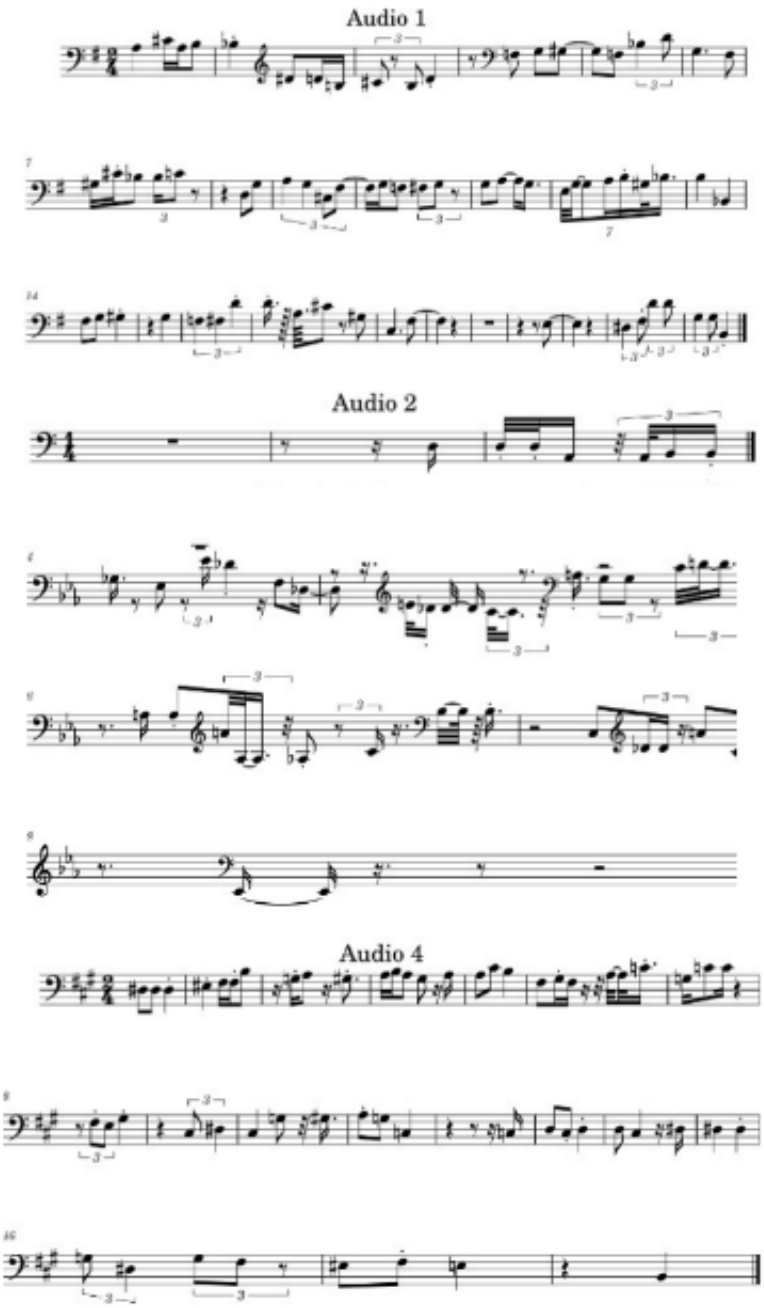
Caballero, G. (2008). *Choguita rarámuri (tarahumara). Phonology and Morphology*. UC Berkeley-Department of Linguistics.

Mc Kevitt, P., Ó Nualláin, S., & Mulvihill, C. (2002). *Language, Vision, and Music: Advances in Consciousness Research*. John Benjamins Publishing Co.

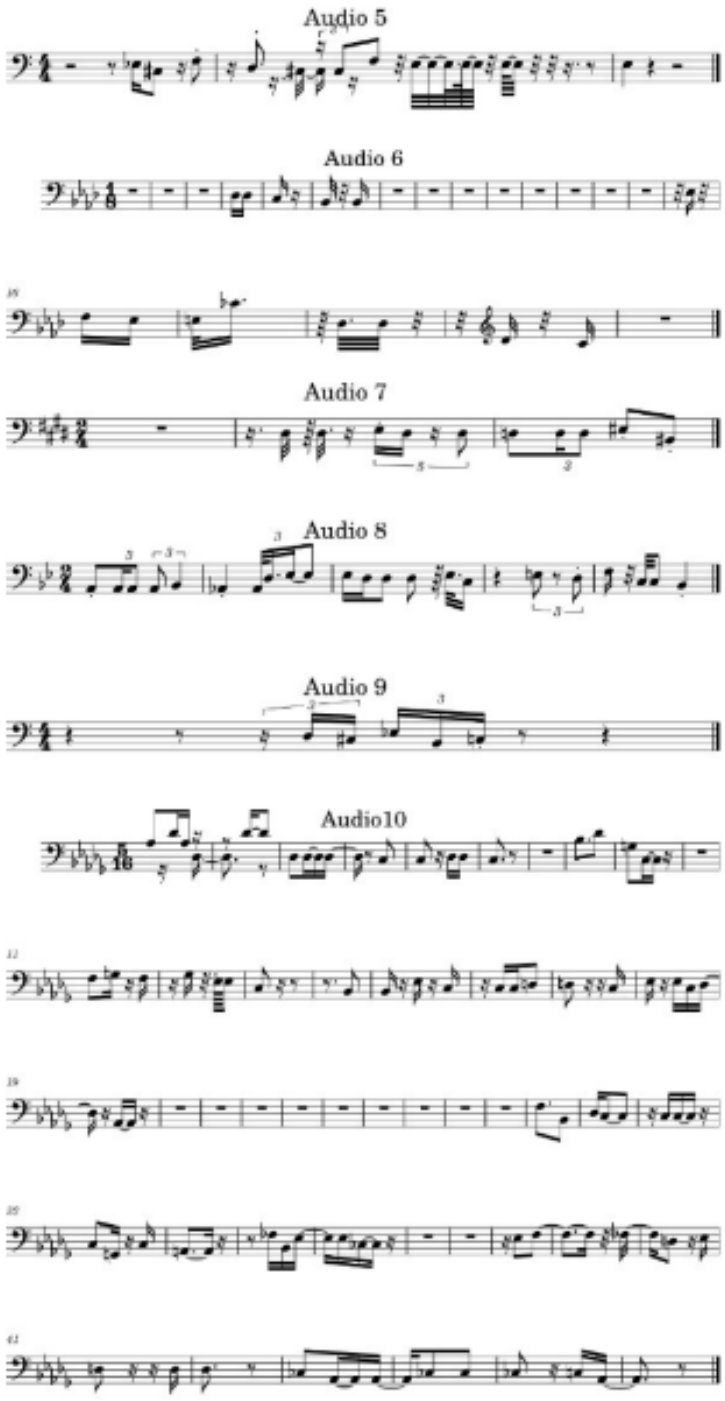
Patel, A. D., & Daniele, J. (2003). An Empirical Comparison of Rhythm in Language and Music. *Cognition, 87*(1), B35-B45.

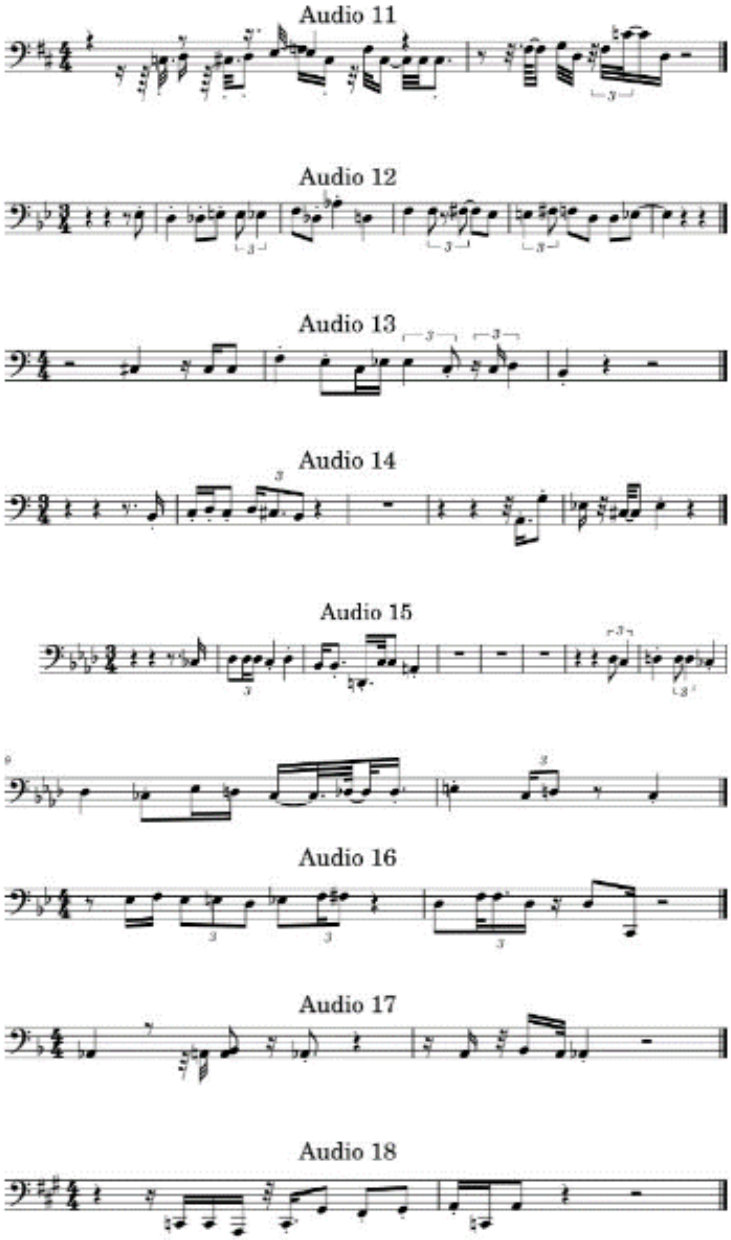
Temperley, N., & Temperley, D. (2011). Music-language Correlations and the "Scotch Snap". *Mus. Percept., 29*(1), 51-63

Anexo 1. Notación musical de cada una de las frases de los fragmentos del audio

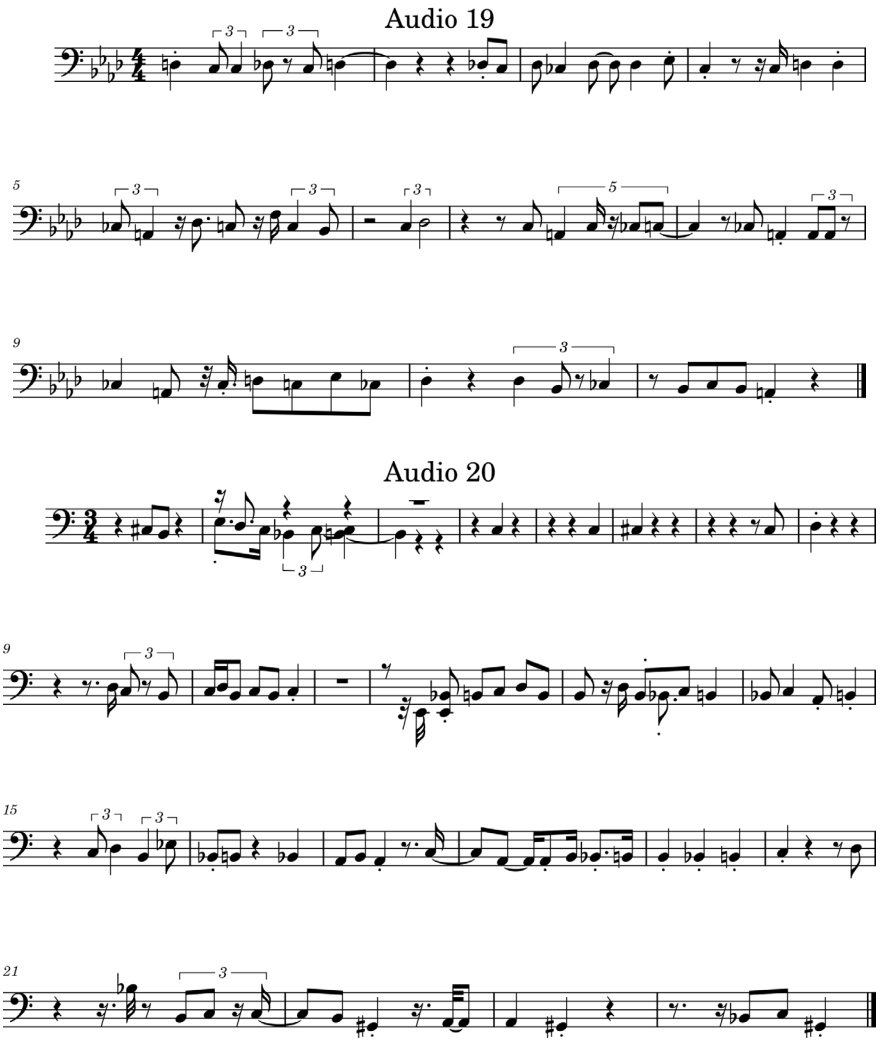


"Plática en la fogata"

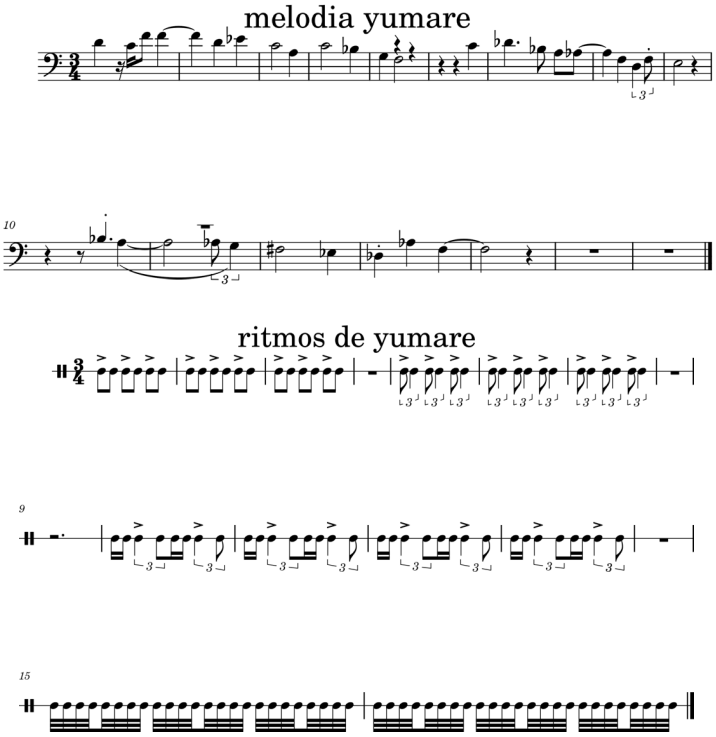

Audio 5
Audio 6
Audio 7
Audio 8
Audio 9
Audio10


Audio 11
Audio 12
Audio 13
Audio 14
Audio 15
Audio 16
Audio 17
Audio 18

Anexo 2. Frases recortadas de los audios de la entrevista a Calixto Batista



Anexo 3. Melodía y ritmos de Yúmare



La salud del pianista

Autora: Karina Alexa Medina Vite
Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Programa: Licenciatura en Música
Correo: al146805@alumnos.uacj.mx
Tutora: Mtra. Claudia Guadalupe Luna López

Resumen
La presencia de lesiones musculares cada vez es más frecuente en los profesionales de la música, por lo que es necesario encontrar las causas que puedan generar problemas de salud para crear rutinas de estudio eficientes que permitan preparar el cuerpo y poder ejecutar todas las obras de un recital de manera precisa sin fatigar o lastimar alguna parte del organismo. Al comparar las retículas de varias universidades de México nada más una cuenta con una asignatura enfocada en la salud del músico instrumentista, mientras que en universidades prestigiosas de otros países sí forma parte de la carga obligatoria de materias del programa. Esta investigación se realizó con la finalidad de encontrar alternativas que permitan prevenir o resolver problemas fisiológicos que aparezcan durante la práctica o el estudio de una obra musical, exponiendo los fundamentos de las técnicas para poder aplicarlas independientemente del nivel técnico o especialidad instrumental del músico.

Palabras clave: lesión; rutina; estudio; técnicas; salud.

1. Introducción

La *técnica* es un conjunto de herramientas de las que se vale el músico para interpretar de forma adecuada una obra musical. Es definida por el diccionario de la Universidad de Oxford como la "destreza y habilidad de una persona en un arte, deporte o actividad que requiere usar estos procedimientos o recursos, que se desarrollan por el aprendizaje y la experiencia" (Oxford, 2018).

La *técnica pianística* ha ido modificándose a través de los siglos, debido a la misma evolución del instrumento; puesto que el mecanismo de acción de las cuerdas del clavicordio difiere en gran parte del mecanismo de martillo actual del piano, hemos de suponer que la ejecución del repertorio también era distinta. Sin embargo, no se puede diferenciar entre una técnica barroca y una romántica, puesto que se pueden aplicar los mismos recursos en piezas que pertenezcan a periodos musicales distintos, tales como el movimiento de los brazos, del torso, articulación de los dedos, entre otros.

Sin embargo, el uso de una técnica inadecuada conlleva al desarrollo de lesiones en el cuerpo, lo cual perjudica la ejecución musical en el instrumento e, incluso, puede impedir el seguimiento del estudio de este.

A lo largo de este trabajo, se muestra el proceso para la selección de una metodología de estudio que permita al alumno de piano estudiar su repertorio sin el peligro de lastimarse mientras practica.

2. Desarrollo

2.1 *Justificación*

Durante el estudio de un instrumento, el músico empieza a acumular tensión en todos los músculos del cuerpo si la postura con la que trabaja no es la correcta o debido a la poca conciencia que se tiene sobre los movimientos que se realizan al tocar. Esta tensión se va acumulando conforme pasan las horas y los días, provocando lesiones en las extremidades e impidiendo el desarrollo de la práctica de las obras.

Es común encontrarse con compañeros pianistas de la licenciatura que se quejan de dolores en las muñecas o en los antebrazos, pero por no abandonar las clases y para cumplir con el repertorio, persisten practicando, a pesar de las molestias, pensando que el dolor remitirá o que, si estudian más tiempo, sus músculos van a desarrollar más resistencia, como sucede en el deporte. Sin embargo, no se están dando cuenta de que lo que están haciendo es fatigar las fibras suaves de sus extremidades, lo que puede resultar en una lesión seria y ocasionar el abandono temporal del instrumento para su recuperación.

2.2 *Metodología*

Para la realización de la siguiente investigación, se partió de la incógnita de encontrar alguna rutina que me permitiera practicar piano sin volver a lesionarme y, a la vez, me ayudara a mejorar mi técnica. Para esto, se llevó a cabo un estudio cualitativo de acción participativa, ya que se utilizaron los datos obtenidos de la revisión bibliográfica para crear una rutina de estudio.

El universo de esta investigación se enfoca en los alumnos de la Licenciatura en Música que se están especializando en piano, para identificar las lesiones que ocurren durante el estudio del instrumento, pero la investigación se aplicó únicamente a la autora en un proceso de experimentación, tomando nota de los resultados a través de la observación de los movimientos realizados durante el recital final de titulación —si se podrá tocar todo el repertorio sin que aparezca dolor en los brazos, síntomas de lesiones o fatiga.

2.3 *Resultados*

A continuación, se presenta un resumen de la información adquirida durante la revisión bibliográfica.

2.3.1 Lesiones de los pianistas

Durante el estudio del instrumento, el cuerpo se mantiene en constante movimiento. Las extremidades superiores son las que más trabajo tienen, puesto que el recorrido de los dedos abarca grandes distancias durante la duración del repertorio. Entonces, en una hora que dura un recital, aproximadamente, los dedos suben y bajan cientos de veces, con algunos puntos de descanso entre las piezas o durante las mismas (Mark, 2003).

La repetición constante de un movimiento provoca cansancio y desgaste en los músculos. Por eso no es raro observar que los pianistas respiren profundamente o más rápido durante pasajes que requieren más energía, debido a que es necesario que se oxigenen el sistema cardiovascular y el sistema muscular para mantener el cuerpo funcionando en óptimas condiciones (Mark, 2003).

2.3.1.1 Causas de las lesiones

Durante la realización de cualquier tipo de movimiento, los músculos consumen oxígeno y glucosa en grandes cantidades para poder contraerse; por lo tanto, mientras mayor sea el

esfuerzo o estén contraídos durante un tiempo prolongado, estas cantidades sobrepasan el límite que nuestro cuerpo es capaz de sustentar, lo que ocasiona calambres y fatiga. También pueden lesionarse debido a sobrecargas repetitivas —haciendo que el músculo se inflame en respuesta para intentar protegerlo de roturas— o por una inactividad prolongada —ocasionando que este disminuya en tamaño hasta llegar a atrofiarse (Martínez Colomina, 2019).

En la tabla 1 se muestran cuatro categorías sobre las causas de las lesiones:

Tabla 1. Causas de las lesiones musculares

Causas	Descripción
Cocontracción	Ocurre cuando dos músculos con funciones opuestas están contraídos al mismo tiempo.
Mala postura	Los tendones necesitan espacio para poder contraerse y mover las articulaciones. Cuando dicho tendón está siendo oprimido, debido a una mala postura del cuerpo (como muñecas dobladas o dedos arqueados hacia arriba), disminuye su fuerza e imposibilita su movilidad.
Actividad estática muscular	Hay dos tipos de actividades: dinámica, cuando el músculo se alarga y se contrae; y estática, cuando se ejerce fuerza sin que el músculo cambie de forma. Este segundo tipo causa mayor estrés en el músculo ocasionando fatiga.
Fuerza excesiva	Al duplicar la fuerza ejercida en los músculos, el estrés que sufren los tendones se multiplica por cinco, por lo que se dañan con mayor facilidad.

Fuente: Mark (2003).

Por otra parte, Rosset y Odam (2007) enumeran algunos factores de riesgo importantes para tomar en consideración: aspectos ambientales, aspectos psicológicos, aspectos socioeconómicos, adaptación del instrumento con el cuerpo del músico, descompensación del trabajo asimétrico, técnica propensa a generar lesiones y actividades diarias.

Entre los tipos de lesiones más comunes se encuentran:

- *Tendinitis*: es la inflamación de los tendones (estructuras fibrosas que unen los músculos con los huesos) en alguna área del cuerpo. Se puede generar debido a un uso excesivo de contracciones musculares (Huston, 2019).
- *Síndrome del túnel del carpo*: es la inflamación del túnel carpiano ubicado en la muñeca en el plano interno de la mano. Lo conforman ocho huesos y tejidos blandos, que le dan una forma de túnel. La inflamación genera una presión sobre el nervio medio, provocando entumecimiento de la mano, pérdida de sensibilidad y dolor al flexionar los dedos (Secretaría de Salud, 2015).
- *Bursitis*: es la inflamación de la bursa —que es una bolsita de líquido sinovial ubicada en las articulaciones para amortiguar el movimiento—. Es más común que se presente en el codo, el hombro y la rodilla (MedlinePlus, 2021). La rotación repetitiva del brazo

puede ocasionar que la bursa se pellizque e inflame, pasando a generarle bursitis o una tendinitis de brazo (Horvath, 2010).

- *Inflamación del nervio cubital*: este se origina en el cuello y se extiende hasta los dedos de la mano. El nervio pasa por un túnel cubital del codo y cuando este se flexiona, el nervio se comprime, por lo que si el brazo se dobla constantemente a menos de 90° o durante un tiempo prolongado ocurre la inflamación. Un síntoma es el dolor y adormecimiento del dedo meñique (Horvath, 2010).

2.3.2 Técnicas preventivas de mantenimiento muscular

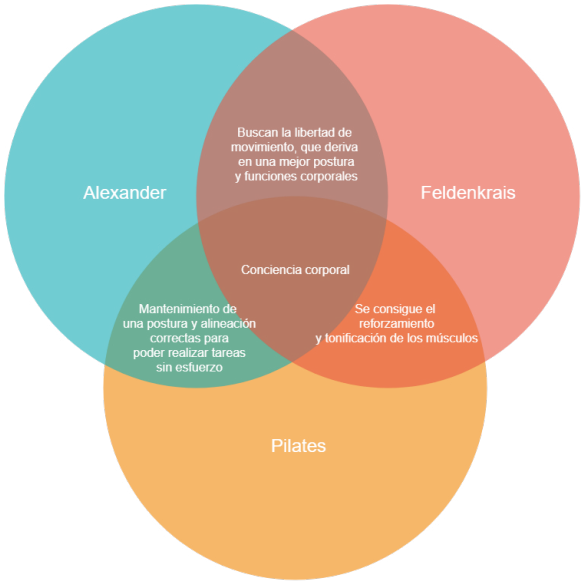
Crear una rutina de estudio es importante, porque permite visualizar un plan para progresar en el aprendizaje o en la práctica del repertorio. Una rutina que exhausta los músculos constantemente generará lesiones que en un futuro impedirán una práctica fructífera, por lo que conocer los límites del cuerpo y cómo mantener una buena salud muscular debe ser prioridad para cualquier músico que quiera continuar con su carrera durante un largo periodo.

A continuación, se presentan algunas técnicas utilizadas por profesionales en distintas áreas artísticas para obtener control sobre la tensión del cuerpo y la mente, las cuales son aplicadas en la rutina de estudio o calentamiento, permitiendo mantener al cuerpo en una condición óptima para tocar el piano.

2.3.2.1 Técnicas preliminares

En el siguiente diagrama (figura 1), se sintetizan los fundamentos que comparten tres diferentes técnicas de ejercitación corporal, los cuales, mediante distintos ejercicios de estiramiento, respiración y postura, permiten desarrollar una conciencia más profunda sobre el cuerpo de la que se tiene habitualmente.

Figura 1. Diagrama de Venn sobre los fundamentos de las técnicas Alexander, Feldenkrais y Pilates



Fuente: García (2013) [técnica Alexander]; Asociación Mexicana del Método Feldenkrais (s.f.) [técnica Feldenkrais]; Siler (2020) [técnica Pilates].

2.3.2.2 Técnicas aplicadas durante la práctica

Habiendo preparado los músculos del cuerpo con anterioridad, la conciencia del cuerpo y la movilidad siguen siendo cuestiones que deben tenerse muy presentes durante el estudio del instrumento. A continuación, se presentan metodologías que abordan la práctica del piano desde un punto de vista más kinestésico (enfocado al movimiento o la sensación de la percepción como movimiento universal).

Tabla 2. Comparación entre ambas técnicas pianísticas

Enfoques	**Método de Taubman**	**Escuela Rusa**
Fundamento	Tratar el brazo, la mano y los dedos como una unidad sincronizada.	Enfatiza en la musicalidad mediante el uso de movimientos físicos, enfocándose en la muñeca.
Sobre la postura	Un correcto posicionamiento, alineación del cuerpo y balance, se logra a través de la altura del asiento, la ubicación de los pies (balance), la distancia entre el asiento y el piano, la posición del torso y la posición de los hombros.	Las manos deben estar sobre el teclado manteniendo los hombros, los brazos y los codos relajados; el peso de estos debe ser soportado en las teclas por los dedos.
Movimientos utilizados	Rotación de la muñeca y antebrazo, meter la mano hacia el fondo de las teclas, cargar la mano de un lado a otro usando el brazo y mover la mano hacia arriba y hacia abajo, creando formas curvilíneas.	La mano debe permanecer relajada en cada oportunidad para conservar energía. La muñeca puede doblarse de arriba hacia abajo, rotar; hacer movimientos laterales, circulares; rebotar para marcar el *staccato* y accionar los dedos.

Fuente: Moran (2008) describe los movimientos de la técnica Taubman, mientras Conus y Conus (2017) presentan los fundamentos del método ruso para la técnica del piano, resumidos en la tabla.

3. Conclusiones

Al haber realizado distintos ejercicios de las técnicas preliminares, aumentó la conciencia del cuerpo y los distintos movimientos que se pueden efectuar durante la interpretación de un repertorio musical, disminuyendo los dolores musculares presentes anteriormente, además de obtener mayor control de la técnica pianística; sin embargo, falta realizar el recital de titulación para verificar si se puede llevar a cabo sin interrupciones, debido a algún dolor muscular o fatiga.

Para comprobar el estado de salud de los músculos, el haber efectuado una electromiografía antes y después habría proporcionado datos más contundentes, por lo que se tomará nota para futuros casos o para llevar a cabo otra investigación más detallada (tal vez de tipo cuantitativo), así como trabajar con un grupo de control para obtener más datos para comparar o generalizar los resultados.

Las artes siempre se han enfocado en poder apreciar el producto realizado sin ser enteramente meticulosas con los procesos que se llevan a cabo para obtenerlo, lo que muchas veces conlleva a un deterioro en el estado de la salud física, mental y emocional del artista, quien se ve obligado a dejar su profesión por dichos problemas.

Si bien la medicina enfocada en los músicos es relativamente nueva, en el país no ha obtenido la relevancia suficiente como la medicina del deporte, por lo que encontrar profesionales de la salud a los cuales poder acudir, se vuelve un problema que ataca a la comunidad de músicos de la Heroica Ciudad Juárez, por lo que es imperativo crear conciencia sobre las formas de mantener un estado de salud efectivo en la comunidad musical, ya sea mediante la realización de charlas con expertos en el tema, apertura de espacios para el aprendizaje o campañas de información.

4. Referencias

Asociación Mexicana del Método Feldenkrais, A. C. (s.f.). El Método Feldenkrais. http://www.feldenkraismexico.org/definicion-y-campos-de-aplicacion/

Conus, L., & Conus, O. (2017). *Fundamentals of Piano Technique. The Russian Method*. Hal Leonard Books.

García Martínez, R. (2013). *Técnica Alexander para músicos. La "zona de confort": salud y equilibrio en la música*. Robin Book.

Horvath, J. (2000). *Playing (Less) Hurt: An Injury Prevention Guide for Musicians*. Hal Leonard Books.

Houglum, P. A. (2005). *Therapeutic Exercise for Musculoskeletal Injuries*. Human Kinetics.

Huston, K. (2019). *Tendinitis (Bursitis)*. American College of Rheumatology. https://www.rheumatology.org/I-Am-A/Patient-Caregiver/Diseases-Conditions/Tendinitis-Bursitis

López-Cano, R. (2014). *Investigación artística en música*. Fondo Nacional para la Cultura y las Artes.

Mark, T. (2003). *What Every Pianist Needs to Know about the Body.* GIA Publications, Inc.

Martínez Colomina, J. (2019). *Lesiones comunes asociadas a la práctica musical y su recuperación*. Universidad Católica de Valencia.

Moran, M. (2008). *Basic Alignment & Rotation*. The Golandsky Institute.

Oxford (2018). Técnica. Spanish Oxford Living Dictionaries. https://es.oxforddictionaries.com/definicion/tecnica

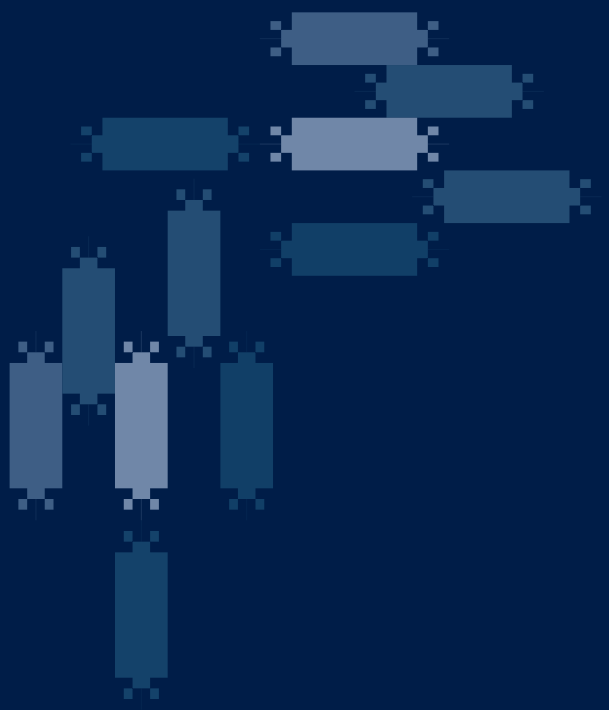
Rosset i Llobet, J., & Odam, G. (2007). *El cuerpo del músico: Manual de mantenimiento para un máximo rendimiento* (Trad.: P. G. Román). Paidotribo.

Secretaría de Salud (2015). Síndrome del túnel del carpo. Gobierno de México. https://www.gob.mx/salud/articulos/sindrome-del-tunel-del-carpo

Siler, B. (2020). *El método Pilates*. Ediciones Culturales Paidós, S. A. de C. V.

Teixeira Dos Santos, L., Amaral Correa, L., Nogueira Paranhos, E. N., Minetti Albertini, A. I., do Carmo Silva Parreira, P., & Calazans Nogueira, L. A. (2018). Prevalence and Risk Factors for Musculoskeletal Pain in Keyboard Musicians: A Systematic Review. *PM&R, 10*(9), 942-950. Recuperado el 22 de marzo de 2021, de https://doi.org/10.1016/j.pmrj.2018.04.001

CONFERENCIA MAGISTRAL



La importancia de la investigación sobre la participación y representación política de los grupos históricamente vulnerados

Dra. Claudia Arlett Espino

Licenciada en Derecho por la Universidad Autónoma de Chihuahua con mención especial, Maestra en Derecho por la Universidad Autónoma de Chihuahua con mención honorifica y Especialización en Educación para la Ciudadanía y Derechos Humanos por la Universidad Carlos III en Madrid España, así como Doctora en Derecho por la Universidad Autónoma de Chihuahua.

Profesora de Tiempo Completo en la UACH, docente, investigadora, conferencista, ponente, autora y editorialista en distintas publicaciones nacionales e internacionales sobre temas relativos a los Derechos Humanos y la Equidad de Género. Profesora en universidades públicas y privadas de México. Ha participado como evaluadora nacional de los Comités Interinstitucionales de la Evaluación de la Educación Superior (CIEES). Se desempeñó como asesora del Senado de la República, también fungió como asesora jurídica y enlace de género en la Coordinación de Comunicación Social del Gobierno del Estado de Chihuahua.

En su función como Consejera Electoral en el Instituto Estatal Electoral de Chihuahua, presidió la Comisión de Equidad de Género y Grupos Vulnerables, entre otras importantes comisiones.

Como parte de su presentación en el 7mo Encuentro de Jóvenes Investigadores en el Estado de Chihuahua 2021 en modalidad a distancia, compartió que es importante generar el diálogo entre las y los jóvenes en temáticas sobre representación y participación política de grupos históricamente vulnerados, los cuales en recientes procesos electorales han sido de relevancia, siendo el Encuentro de Jóvenes Investigadores el espacio idóneo.

En contexto, señala que el Ser investigador o investigadora, requiere una estructura mental que se adquiere a lo largo de la formación académica, así como el entender sobre las técnicas de investigación que son requeridas para llegar a la realidad, tales como la investigación de campo, la cual permite conocer la realidad y, de una manera positiva, poder conjuntar la teoría con la práctica. Por lo anterior, "la experiencia teórica y práctica permite presentar la historia de los procesos electorales y de los mecanismos de participación ciudadana de profundizar en la participación política de aquellos que han sido históricamente vulnerados…", citó la Dra. Espino.

Se puntualizó sobre la importancia de definir quiénes son los grupos vulnerados, los cuales se pueden definir como personas, o bien, grupos o colectivos, todo en referencia a los derechos humanos y tratados internacionales en materia con el objetivo de permitir la representación y la participación, los cuales también son dos conceptos distintos.

¿Cómo ubicaríamos estos grupos que han sido de relevancia en últimos procesos electorales? Podemos iniciar conociendo la historia y en este proceso, el grupo vulnerado de relevancia histórica ha sido el de las mujeres; identificado cuando inician los siglos XIX y XX, cuando las sufragistas, mujeres organizadas en Europa, Estados Unidos e Inglaterra, perseguían el derecho a la ciudadanía el cual era reconocido mediante el voto, logrando el reconocimiento a principios de siglo. Mientras que en América Latina toman sus ejemplos y el primer país que logra dar el reconocimiento a las mujeres es Uruguay en los años 30.

Con el anterior ejemplo, se da entrada para reconocer desde el primer y numeroso grupo que la historia marca a nivel mundial como vulnerado, identificándolo desde el contexto político y la práctica, que indica su justificación o su fundamentación y que va a acompañada de reformas política electorales plasmadas en la propia Constitución y en las leyes correspondientes.

Otro grupo invisibilizado y olvidado que no ha llegado a la participación social y política, representado por el más del veinticinco por ciento de la población mexicana, es aquel denominado como pueblos y comunidades indígenas que, aunque en la teoría se menciona mediante fundamento legal en nuestra Constitución y leyes, no ha logrado completamente activar la temática y relevancia de la representación política de estos 68 pueblos indígenas reconocidos. De los grandes sucesos en nuestro país, podemos reconocer que ni la Independencia ni la Revolución Mexicana hicieron justicia al indígena, aunque también esto se refiere al "campesino" en masculino y no se hace referencia a las y los campesinos invisibilizados en la historia.

Como estos, otro grupo importante de considerar son las personas con discapacidad, donde, como ejemplo, figura el estado de Hidalgo como referente de avance al brindar una sentencia en virtud de tal grupo, logrando que hoy en día, mujeres indígenas con discapacidad puedan ser parte del Congreso del Estado y que, a su vez, permita ser un avance en materia de política pública y representación.

En un cuarto punto, no menos importante, se encuentra el grupo vulnerado de personas adultas mayores, los cuales forman un porcentaje importante en la participación en las urnas, en contraposición con la población de los jóvenes que son los que menos votan. Por lo anterior, es importante señalar la acción afirmativa efectuada por parte de los órganos

administrativos electorales para fomentar la participación del mencionado grupo, para remover la traba normativa para la participación de personas de +65 años para que se pueda participar en una candidatura e incentivar a los partidos políticos para que llevaran candidaturas jóvenes y de esta manera, contar con representaciones tanto de tercera y cuarta edad, así como jóvenes.

Por otra parte, las niñas, niños y adolescentes figuran en el estado de Chihuahua, mediante las consultas públicas y de opinión, donde se busca el dotar de libertades y empoderamiento mediante el conocimiento de sus derechos humanos.

Otro grupo históricamente vulnerado que marca a Ciudad Juárez son los migrantes, que han sido motivo no solo de políticas públicas, sino también de medidas político electorales, donde se ha buscado la posibilidad de que participen y Chihuahua ha sido referente gracias a sus mecanismos de participación ciudadana, y a su vez, los pertenecientes a los pueblos originarios migrantes son respaldados por sus derechos humanos y que en materia político electoral no pueden ser ignorados.

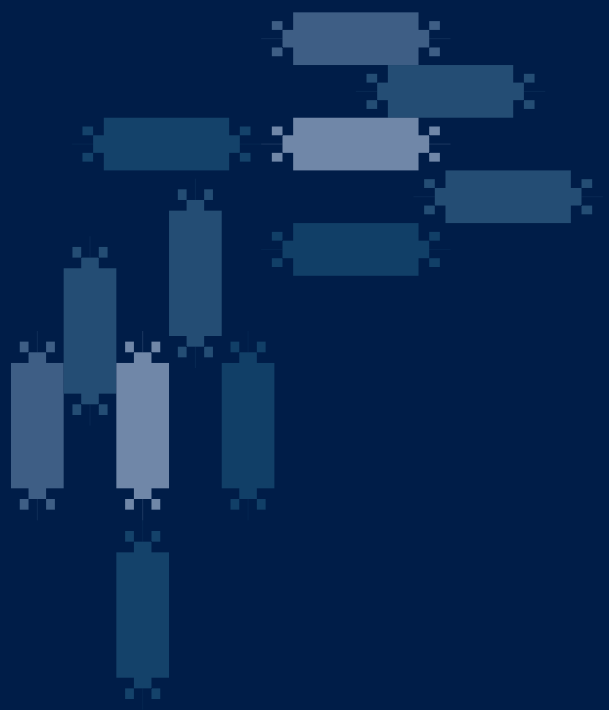
Como parte de este aspecto, figura el avance en materia electoral para permitir el ejercicio del derecho político al voto de chihuahuenses que radican en el extranjero, mediante la vía postal y electrónica.

A su vez, las personas en situación de reclusión, donde mediante un caso particular en el estado de Chiapas, donde se solicitaba al órgano electoral local que pudieran ejercer su derecho político electoral a votar, fue un gran reto de ejercer, ya que la norma constitucional tanto federal como local da facultad a las personas que sean ciudadanos mexicanos y que se encuentren en pleno uso de sus derechos político electorales. No obstante, las personas en reclusión pueden estar en dos supuestos: personas detenidas y que se encuentran bajo proceso, o bien, aquellas que se encuentran sentenciadas y que han perdido los derechos político electorales; por lo cual, el INE emprende un proceso muestral en algunas entidades de la república para que en años venideros se cuente con la posibilidad de garantizar el derecho al voto.

No queda fuera el mencionar a las personas afrodescendientes, donde también en acción electoral figuran en tribunales e instituciones de acción ciudadana y son de relevancia electoral al igual que la comunidad con diversidad sexual, las cuales han sido motivo de políticas y acciones afirmativas a través de entidades electorales donde logran la cuota y representación en los organismos colegiados públicos.

La Dra. Espino, concluye señalando que la importancia es más que vista, ya que su justificación y fundamento en boga como resultado de reformas en materia de derechos humanos y que la historia de las entidades federativas, de manera distinta en cada una de ellas, les ha dado una u otra relevancia, pero no sería posible crear normas y reglamentos por parte de los órganos electorales y tribunales, sin que exista investigación sobre cada uno de ellos, analizando la voz histórica y la representación en la mesa de decisión e incidencia de la agenda pública de los municipios, estados y nación.

MESA DE MUJERES EN LA CIENCIA



Mujeres en la ciencia

Este espacio, permitió que estudiantes y recién egresadas de posgrados de los cuatro institutos de Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, compartieran sobre su destacada experiencia en participaciones de foro, congresos o exposición de investigación a nivel nacional y/o internacional, enfatizando el papel de la mujer y su participación en la ciencia en las diferentes áreas del conocimiento hoy en día, así como la situación actual al respecto.

La mesa de dialogo fue moderada por la Dra. Claudia Rodríguez González, profesora investigadora del Instituto de Ingeniería y Tecnología, perteneciente al Sistema Nacional de Investigadores desde el 2010. Cuenta con la publicación de 42 artículos en revistas indizadas y tres capítulos de libro, además de haber recibido el Premio Estatal de Ciencias, Tecnología e Innovación de Chihuahua en 2020 y la Medalla Ing. Alicia Margarita Torres Villanueva por parte de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León en 2021.

Asimismo, se contó con la participación de las siguientes estudiantes:

Lic. Marlén Castellanos Uralde

Egresada de la Maestría en Diseño y Desarrollo del Producto del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte

Participaciones destacadas:

- Diversas publicaciones desde el 2019 al 2021
- Mención honorífica en el Premio Nacional de Diseño Diseña México 2020
- Participación en congresos internacionales

Mtra. Adriana Sánchez Maldonado

Estudiante del Doctorado en Ciencias Químico Biológicas del Instituto de Ciencias Biomédicas

Participaciones destacadas:

- Participación en “The Association for Research in Vision and Ophtalmology”, en Canadá en 2019
- Presentación de Poster en el Latin X Chem 2021 (Foro Internacional de Químicos Latinoamericanos)

Lic. Tania Guadalupe Chávez Gallegos

Estudiante de la Maestría en Estudios Interdisciplinarios de Género del Instituto de Ciencias Sociales y Administración

Participaciones destacadas:

- Verano de investigación 2019 en la Universidad de Guanajuato
- 2do lugar en el 6º Encuentro de Jóvenes Investigadores en el Estado de Chihuahua
- Ponente en las Jornadas Conmemorativas de la Lucha Internacional por los Derechos de las Mujeres 2021

Ing. Alexandra Villa Lucero

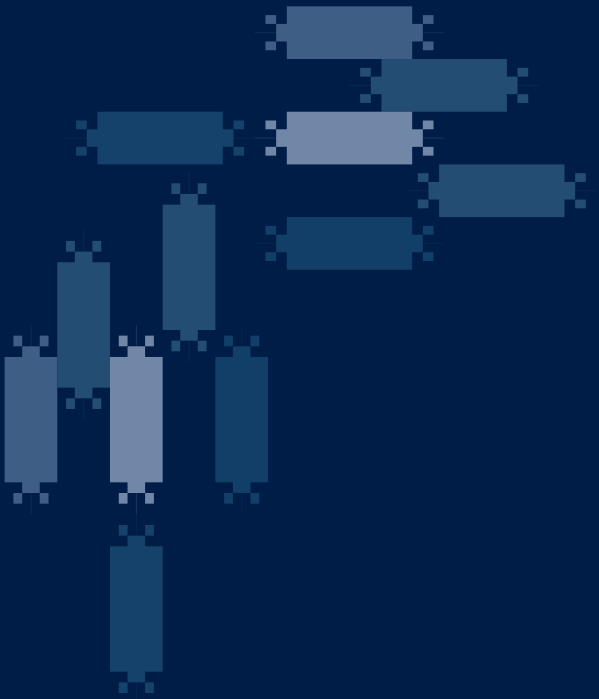
Egresada de la Maestría en Tecnología del Instituto de Ingeniería y Tecnología

Participaciones destacadas:

- Becaria MEXFITEC en Polytech Lille, Francia 2017
- Cursó su segundo año de estudios en la Maestría Electrónica, Energía Eléctrica y Automática en UHA - ENSISA, Francia 2020-2021

Dentro de los intercambios de opinión durante la sesión en vivo, se comentaban los obstáculos que afrontan las mujeres mexicanas en el campo de la investigación, dentro de los que destacan la menor participación femenina en áreas de ingeniería e investigación, la brecha salarial entre hombres y mujeres, los estereotipos y roles de género estipulados por la sociedad, así como el doble esfuerzo efectuado por las mujeres para ser reconocidas por sus conocimientos, habilidades y capacidades.

Por otra parte, las participantes invitan a las estudiantes de cualquier área de conocimiento a continuar en la formación de sus estudios de posgrado y ser un parteaguas en el desarrollo académico profesional independientemente de los desafíos que se presentan.

La mesa de dialogo concluye con la siguiente invitación:

> Hoy invitamos a todas y todos a participar para que, desde nuestra trinchera, no importa si estamos en investigación, la industria o en áreas de responsabilidad social en la docencia o en un ámbito deportivo o en la administración, hagamos lo que podemos y debemos hacer par que la presencia de las mujeres en la Ciencia sea la regla y no sea la excepción.