

Colección Saberes de la Ciencia

EL CORTE DE LA NAVAJA DE OCKHAM

Preguntas y respuestas para
acercarse a la ciencia

Gabriela Camargo Hernández
Rodrigo Vargas Salomón
Joaquín Galindo Castañeda
Leonardo Hernández Hernández
Monserrat Macías Carballo
Juan Carlos Rolón Díaz
Francesco Zanotelli
Coordinadores

El corte de la navaja de Ockham

Preguntas y respuestas para acercarse a la ciencia

COMITÉ CIENTÍFICO

GABRIELA CAMARGO HERNÁNDEZ

Departamento de Ciencias de la Salud

Centro Universitario de los Altos

Universidad de Guadalajara

RODRIGO VARGAS SALOMÓN

Departamento de Ciencias de la Salud

Centro Universitario de los Altos

Universidad de Guadalajara

JOAQUÍN GALINDO CASTAÑEDA

Departamento de Estudios Jurídicos, Sociales y

de la Cultura Centro Universitario de los Altos

Universidad de Guadalajara

MONSERRAT MACÍAS CARBALLO

Departamento de Clínicas

Centro Universitario de los Altos

Universidad de Guadalajara

LEONARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ

Departamento de Fisiología

Centro Universitario de Ciencias de la Salud

Universidad de Guadalajara

JUAN CARLOS ROLÓN DÍAZ

Departamento de Clínicas

Centro Universitario de los Altos

Universidad de Guadalajara

FRANCESCO ZANOTELLI

Dipartimento di Storia, Archeologia, Geogra-
fia, Arte e Spettacolo

Università di Firenze

GRUPO TÉCNICO DE APOYO EN LA EDICIÓN Y CORRECCIÓN DE FORMATO:

DANIELA CAMARGO PLASCENCIA

Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara

LUIS ANTONIO RAMIREZ CONTRERAS

Doctorado en Biociencias del Centro Universitario de Los Altos de la Universidad de Guadalajara

El corte de la navaja de Ockham

Preguntas y respuestas para acercarse a la ciencia

Gabriela Camargo Hernández
Rodrigo Vargas Salomón
Joaquín Galindo Castañeda
Leonardo Hernández Hernández
Montserrat Macías Carballo
Juan Carlos Rolón Díaz
Francesco Zanutelli

Coordinadores

Colección Saberes de la Ciencia

Colección Saberes de la Ciencia

Para garantizar la calidad, pertinencia académica y científica de esta obra, el manuscrito fue sometido a un riguroso arbitraje por medio de dictaminado a doble ciego, realizado por académicos internacionales, especialistas en la materia, con base en la normativa de Consejo Editorial del Centro Universitario de Los Altos de la Universidad de Guadalajara, México.

Grupo técnico de apoyo:

Daniela Camargo Plascencia
Centro Universitario de Arte, Arquitectura y Diseño

Luis Antonio Ramirez Contreras
Doctorado en Biociencias
Centro Universitario de Los Altos

Primera edición, Septiembre 2025

D.R. © 2025, Universidad de Guadalajara,
Centro Universitario de los Altos.
Av. Rafael Casillas Aceves 1200
C.P. 47620, Tepatitlán, Jalisco, México

ISBN Volumen 1: 978-607-581-635-7

ISBN Obra Completa: 978-607-581-634-0

Editado y hecho en México

Edited and made in Mexico



Este trabajo está autorizado bajo la licencia Creative Commons Atribución-NoComercialSinDerivadas 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND) lo que significa que el texto puede ser compartido y redistribuido, siempre que el crédito sea otorgado al autor, pero no puede ser mezclado, transformado, construir sobre él ni utilizado con propósitos comerciales. Para más detalles consúltase <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>

Índice

Presentación	9
Introducción	13
¿Cómo las plantas dieron origen a la farmacología y la medicina?	15
<i>Leonardo Hernández Hernández / Diego Wenceslao Aguilar Ocampo</i>	
¿Cómo se prueba el efecto biológico de nuevas moléculas?	27
<i>Beatriz Aguilar Maldonado y Rosa E. Navarro</i>	
Un lonche tapatío a través de la teoría de las representaciones sociales	39
<i>Aarón González Palacios y Fátima Serrano Cornejo</i>	
¿Cómo la gamificación revoluciona la educación?	49
<i>Aimée Argüero Fonseca y Martha Berenice Meza Dávalos</i>	
Cuando los vasos sanguíneos envejecen	65
<i>Luis Ricardo Balleza Alejandri y Daniel Osmar Suárez-Rico</i>	
Mitos y realidades actuales de la diabetes	79
<i>Alberto Beltrán Ramírez y Jesús Jonathan García Galindo</i>	
¿Qué nos revela la "conciencia oculta" sobre la mente humana?	93
<i>Luis Beltrán Parrazal y Consuelo Morgado Valle</i>	
¿Qué puedo aprender de un gusano llamado <i>C. elegans</i> para razonar mis adicciones?	99
<i>Gabriela Camargo Hernández y Luis Antonio Ramírez Contreras</i>	

Persistencia bacteriana y su impacto en la salud humana	107
<i>Araceli Castillo Romero y Mirian Cobos Vargas</i>	
¿En qué consiste la naturaleza jurídica de los derechos de personalidad?	121
<i>Silvano de la Torre Barba y María Teresa Gómez González</i>	
¿Por qué es alarmante la violencia en el noviazgo?	133
<i>Irene Margarita Espinosa Parra</i>	
Edulcorantes. ¿La solución a una pandemia?	147
<i>Manuel de Jesús Gallegos Saucedo y Leonardo Hernández Hernández</i>	
¿Debe legislarse en el tema de reproducción humana asistida en México?	155
<i>María Teresa Gómez González</i>	
¿Los medicamentos contaminan el medio ambiente?	167
<i>Susan Andrea Gutiérrez Rubio y Roberto Carlos Rosales Gómez</i>	
¿Los maíces nativos mexicanos son una alternativa para la elaboración de alimentos funcionales?	175
<i>Luis Alfonso Hernández Villaseñor y Luis Miguel Anaya Esparza</i>	
¿Cómo los compuestos bioactivos del maíz nativo pigmentado pueden beneficiar a nuestra salud?	185
<i>Salvador Hernández Estrada y Luis Miguel Anaya Esparza</i>	
La nueva sofística	191
<i>Hubert Marraud</i>	
¿Es posible leer sin los ojos? reflexiones desde la discapacidad visual	203
<i>J. Jesús Calvillo Reynoso</i>	
¿Qué son las leyes de la lógica?	223
<i>Sofía Meléndez Gutiérrez</i>	

La preservación de conocimientos ancestrales: la importancia del ixtle en Jalisco	243
<i>Adrián Alejandro Montiel González</i>	
¿Más que una bebida? El pulque en Jalisco, hechos detrás de la tradición	257
<i>Facundo Montiel González y Abraham Ignacio Montiel González</i>	
Infección de vías urinarias. ¿Es tan frecuente cómo se piensa?	269
<i>Erik de Jesús Oropeza Ruezga y Sergio Sánchez Enríquez</i>	
¿Cómo se altera el cerebro en el comportamiento suicida?	283
<i>María Fernanda Ortega Morfín y Sergio Sánchez Enríquez</i>	
¿Cómo es que el Sol, estando tan lejos, es tan importante en nuestras vidas?	299
<i>Armando Pérez Centeno y Miguel Ángel Santana Aranda</i>	
De lo cotidiano a lo fisiológico: el envejecimiento	309
<i>Rocío del Carmen Montoya Pérez y Mariana Gómez Barroso</i>	
El cigarro electrónico: ¿moda o adicción?	323
<i>Juan Carlos Rolón Díaz y María Guadalupe González Pérez</i>	
¿Una segunda infección por dengue es más grave?	335
<i>Roberto Carlos Rosales Gómez y Susan Andrea Gutiérrez Rubio</i>	
La flor de jamaica: ¿el secreto mejor guardado para tu salud?	343
<i>Sergio Sánchez Enríquez y Gabriela Camargo Hernández</i>	
¿Cuál es la función de los nutrientes en el cerebro?	215
<i>Arath Estebane González Ávalos y Monserrat Macías Carballo</i>	
Medicamentos: uso inteligente para una salud óptima	359
<i>Daniel Osmar Suárez Rico</i>	

¿Qué secretos oculta el veneno de alacrán?	377
<i>Laura Leticia Valdez Velázquez y Juana María Jiménez Vargas</i>	
Proteínas a la carta: ¿cómo usamos la bioquímica y la inteligencia artificial para diseñar nuevas macromoléculas?	393
<i>Sergio Romero Romero</i>	
¿Cómo hacer investigación sin recurrir a trampas?	413
<i>Rodrigo Vargas Salomón</i>	
¿Qué tan inteligente es el Chat GPT?	425
<i>Antonio Ponce Rojo, Yolanda Magaña López y Fabián Morales Cobos</i>	
¿Una nueva faceta de la migración México-Estados Unidos gracias a Facebook?	435
<i>Leticia Hernández Vega</i>	

Presentación

La Ciencia es para todos, con ética, con principios filosóficos, y con respeto a las personas. En esta obra de corte internacional encontrarás que cada uno de nosotros somos personas de diferentes nacionalidades haciendo Ciencia para mejorar la Calidad de Vida de las Personas.

A todas y todos quienes somos autores de estos capítulos nos une un objetivo en común avanzar en lo individual y en equipo con este Proyecto de Divulgación Científica para fortalecer nuestro vínculo con la Sociedad. Hacer posible el Acceso Universal al conocimiento científico con una visión multidisciplinaria, de una manera accesible para que sea comprensible para el público en general, es lo que pretende El corte de la navaja de Ockham - Preguntas y respuestas para acercarse a la ciencia.

Desde el año 2007; Profesores Investigadores de la Universidad de Guadalajara junto con nuestros estudiantes de Pregrado y Posgrado de diferentes Centros Universitarios, nos hemos organizado para llevar la Ciencia a la Plaza Pública, a las calles, a nuestros amigos, a nuestros vecinos y al Mercado Municipal. Este comienzo fue de quienes nos especializamos específicamente en el estudio del Sistema Nervioso. Hoy, quienes hemos comenzado en el 2007, hacemos equipo con Compañeras y Compañeros de diferentes áreas de la

Ciencia, somos un solo equipo, llevando nuestros microscopios, nuestros telescopios y materiales lúdicos a las calles; despertar la curiosidad de la gente con la que nos encontramos, esa es nuestra meta.

Contagiar a nuestros Pares sobre la necesidad de tener conciencia día a día, de la importancia de dedicar horas para organizar, planear y realizar actividades de Divulgación Científica fuera de nuestros espacios laborales, es vital.

Esta obra reúne a Científicos de diferentes países que pertenecemos a las áreas de Humanidades, Ciencia Básica, Ciencia, Aplicada, y Ciencia Traslacional. Nuestro denominador común, es el espíritu de llevar a las personas de todas las edades, desde la educación básica y hasta el Posgrado los temas que estudiamos, salir de nuestras oficinas, salir de nuestros laboratorios, y quienes hacemos trabajo de campo en la Comunidad, extender el conocimiento de los resultados de ese trabajo a otras Comunidades.

Nuestras Historias se unen en este primer esfuerzo: El corte de la navaja de Ockham Preguntas y respuestas para acercarse a la ciencia.

Además de seguir produciendo nuestros textos de Divulgación Científica, en este proyecto multidisciplinario e interdisciplinario, continuaremos acompañándolo, con las actividades que incluyen esfuerzos de Divulgación de la Ciencia dirigidos a escuelas locales, al establecimiento de grupos de apoyo comunitario y a eventos dirigidos a los responsables de las políticas públicas y los medios de comunicación. Continuaremos con una campaña permanente con diversas plataformas en Campo, y digitales. Nosotros los participantes de estas actividades continuaremos trabajando activamente acerca de la importancia de las investigaciones que realizamos para y dentro de la comunidad, promoviendo siempre la comprensión de la Ciencia entre personas de todas las edades y diversos orígenes.

Combatir el problema de cómo hacemos llegar a las personas el conocimiento en general, es y será siempre nuestro reto. Evitar día a día el distanciamiento entre la producción científica y el conocimiento que llega a la sociedad es hoy nuestra meta principal.

En resumen, nuestros objetivos fundamentales hablan de cerrar la brecha entre el conocimiento que producimos los Investigadores y la sensibilización intelectual con nuestros pares, con énfasis de la importancia de propiciar estas iniciativas de divulgación y concientización de la Ciencia a la población de

la cual somos parte siempre, en particular en regiones que enfrentan la falta de recursos, apoyo y comprensión pública del Acceso Universal al Conocimiento, concebido como: El acceso universal a la información, que significa que toda persona tiene derecho a buscar, recibir y difundir información de forma honesta, veraz, objetiva y libre de mitos. Un diálogo donde se establece un tema científico de interés general, a manera de conversación común sin perder de vista la parte científica.

Los Coordinadores

Introducción

En esta obra se encuentra plasmada parte de la vida de cada uno de los autores y coautores de diferentes Universidades Públicas de México y de otras partes del Mundo. Se trata de un primer esfuerzo de comunicar de manera muy sencilla, amena y amigable, temas de diferentes áreas del conocimiento, pues está dirigido a público no especializado en los temas que hemos elegido cada uno de nosotros, para intentar contar una historia de lo que sabemos. Esta obra pretende ser así; como su título que hace referencia a la Navaja de Guillermo de Ockham, cuya premisa fundamental es: «en igualdad de condiciones, la explicación más simple suele ser la más probable», y que no por ser sencilla claro, tiene que carecer de calidad.

Nos ha costado evitar ser muy estrictos con nosotros mismos y escribir textos amenos para atraer a la lectura a nuestros amigos, vecinos, familia y público en general. Esta obra es multidisciplinaria y presentamos textos desde el Veneno de Alacrán, la alarma de la violencia en el noviazgo, ¿Cómo hacer investigación sin recurrir a trampas?, las propiedades del maíz, la representación social que tenemos sobre un lonche o torta, el Súper *C. elegans*, la Neuropsicología del comportamiento suicida, la Conciencia oculta, ¿Cómo la Gamificación ha revolucionado a la Ciencia?, ¿En qué consiste la naturaleza jurídica de los derechos de la personalidad?, el uso inteligente de los medicamentos, qué pasa cuando nuestros vasos

sanguíneos envejecen, la importancia de alimentar adecuadamente a nuestro cerebro, ¿podemos hablar de una nueva sofística?, ¿Debe legislarse en el tema de Reproducción Humana Asistida en México?, los mitos y realidades sobre la diabetes, cómo clasificamos a las enfermedades, ¿La flor de Jamaica: es el secreto mejor guardado para tu salud?, ¿Qué Son las Leyes de la Lógica?, El pulque en Jalisco, la Persistencia bacteriana y su impacto en la salud humana, ¿Cómo las plantas dieron origen a la Farmacología y a la Medicina?, ¿Cómo es que el Sol, estando tan lejos, es tan importante en nuestras vidas?, ¿Los medicamentos contaminan el medio ambiente?, Dengue y su gravedad como una segunda infección, Proteínas a la Carta, su bioquímica e inteligencia artificial, Edulcorantes, ¿han sido una solución a una pandemia?, temas importantísimos como: las infecciones de las vías urinarias, el uso de los vapeadores como moda y adicción. También agregamos finalmente un pequeño apartado que hemos llamado Probaditas de divulgación científica: ¿Qué tan inteligente es el Chat GPT? Y ¿Podemos hablar de una nueva faceta de la migración mexicana a los Estados Unidos gracias a Facebook?

Entre otros temas lindos y de mucha importancia darlos a conocer.

Los Coordinadores

¿Cómo las plantas dieron origen a la farmacología y la medicina?

LEONARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ*
DIEGO WENCESLAO AGUILAR OCAMPO**

Introducción

Para fundamentar la práctica médica, los seres humanos recurrimos a varias ciencias, entre ellas la farmacología, que en términos simples es el estudio de las sustancias naturales o sintéticas usadas para diagnosticar, prevenir o tratar enfermedades; y cómo estas sustancias interactúan con los organismos de los sujetos a los que se les administra. Esto siempre ha sido muy importante puesto que todos en muchas ocasiones hemos tenido la necesidad de remediar las enfermedades que llegamos a padecer. Históricamente, los productos naturales con diferentes procedencias, ya sea plantas, animales o minerales, han resuelto los problemas de salud humana desde tiempos inmemoriales, sustentando tratamientos médicos empíricos a través del aprovechamiento de los recursos naturales disponibles en el entorno inmediato de las comunidades primitivas.

Particularmente, las plantas medicinales son las que más han contribuido en el tratamiento de numerosas enfermedades y a la mejora de la calidad de vida desde tiempos ancestrales, y en la actualidad

* Departamento de Fisiología, cucs, Universidad de Guadalajara.

** Maestría en Microbiología Médica, cucs, Universidad de Guadalajara.

siguen siendo una alternativa terapéutica que, aunque se han utilizado por mucho tiempo por poblaciones enteras, necesita ser validada por estudios científicos para determinar su seguridad y mejorar su prescripción, y también para ser la base de nuevos productos farmacéuticos derivados de ellos. De hecho, los productos farmacéuticos basados en vegetales son parte de la práctica de la atención primaria de salud en algunos países, y son usados por amplios sectores de la población por su fácil acceso, al ser de venta libre. Por lo cual constituyen un mercado con enormes ganancias alrededor del mundo.

No obstante, poco sabemos de cuál es el origen de esa conducta que nos llevó a utilizar plantas y sus derivados con fines curativos y terapéuticos; creando con el paso del tiempo un cuerpo de conocimientos empíricos sobre su uso, los que posteriormente constituyeron una importante parte de las tradiciones curativas de diversos pueblos alrededor del orbe.

Plantas medicinales

Para entrar en materia, primero son necesarias algunas definiciones. Para que una planta medicinal sea considerada como tal, debe tener en cualquiera de sus partes alguna o algunas sustancias con efectos farmacológicos, es decir, efectos biológicos que modifiquen fisiológica y bioquímicamente órganos o sistemas de los sujetos que las toman para aliviar sus enfermedades o restablecer su estado de salud. Estas sustancias son llamadas principios activos y en general son metabolitos secundarios, es decir compuestos que producen las plantas, involucrados en la adaptación al estrés y en la defensa contra depredadores y microorganismos patógenos. A diferencia de los metabolitos primarios, que están implicados en el crecimiento, el desarrollo y la reproducción, se sabe que la ausencia de los metabolitos secundarios no es mortal para la planta. En general, los principios activos pueden estimular o inhibir una función, sustituir la función de un elemento propio que se encuentre disminuido o perdido, o ser una sustancia que elimina o inhiba el crecimiento de algún patógeno, ya sea bacteria, virus o parásito.

Se pueden agrupar en cuatro clases principales:

- Terpenos, que incluyen hormonas, pigmentos o aceites esenciales.
- Compuestos fenólicos, donde se pueden incluir cumarinas, flavonoides, lignina y taninos.

- Glucósidos, como los glucósidos cardíacos y cianogénicos, las saponinas y los glucosinolatos.
- Alcaloides, utilizados por sus efectos analgésico, vasodilatador o estimulante, por interactuar con el sistema nervioso.

Existen otros principios activos de naturaleza variada, como ácidos orgánicos, enzimas, minerales, vitaminas, mucílagos, gomas, resinas y bálsamos.

Antiguamente se utilizaban los principios activos en su forma natural para sus formulaciones. No obstante, empleando los avances en la farmacología y de los procesos de extracción, se han obtenido una gran cantidad de principios activos purificados que forman parte del cuerpo de medicamentos que actualmente están disponibles en los servicios de salud. Sin embargo, esto es relativamente reciente, pues desde tiempos inmemoriales y también actualmente las personas han utilizado preparaciones utilizando las plantas, que pueden ir desde infusiones a macerados o cataplasmas, todas bajo el marco de la medicina tradicional. Esto probablemente tenga algún sentido. En algunos casos el consumo de la preparación de la planta medicinal resulta tener más actividad biológica que el o los principios activos aislados, debido a que, en la planta, éstos interactúan con diferentes sustancias coadyuvantes que sinérgicamente potencian sus efectos farmacológicos.

Zoofarmacognosia

En un intento por comprender de dónde ha venido esta bonita costumbre de usar plantas medicinales, el estudio de cómo los animales se automedican, o zoofarmacognosia, puede ofrecer una pista muy reveladora. En principio, esta conducta era considerada exclusiva de animales con un desarrollo cognitivo muy alto, como los seres humanos. Sin embargo, la observación en campo de animales con distintos niveles de desarrollo en la escala filogenética, han permitido desechar esta idea. Los animales, de acuerdo con observaciones hechas en sus entornos naturales y en experimentos de laboratorio, alivian sus dolencias ingiriendo o untándose vegetales principalmente, pero también tierras e incluso ciertos insectos, con el fin de prevenir o curar enfermedades propias o de su descendencia.

Ejemplos se han encontrado desde invertebrados, como las hormigas. En un experimento se mostró que se automedicaban con alimentos impregnados

con peróxido de hidrógeno, con la dosis justa para tratar la infección con el hongo patógeno *Beauveria bassiana* (Bos *et al.*, 2015). En mamíferos los casos son más visibles: todos hemos visto a nuestros perros y gatos comer pasto para tratar males digestivos, pero también ocurre que las hembras de los elefantes cuando están embarazadas ingieren al arbusto *Cordia goetzi* para acelerar el parto, o que las mangostas y los jabalíes comen la raíz de *Rauwolfia serpentina*, como antiveneno para serpientes como las cobras.

Los primates no humanos también lo hacen, como el conocidísimo caso del orangután Rakus, que se automedicó una herida en el rostro con una cataplasma elaborada con la planta *Fibraurea tinctoria*. Además, se ha reportado que los chimpancés también emplean plantas medicinales africanas como la *Vernonia amygdalina* para purgarse de parásitos, y de hecho encontraron que sólo masticaban la planta sin hojas ni corteza, para luego escupirla. Esto demostró que los animales consumen estas plantas sin propósitos nutrimentales, y que deliberadamente las toman por sus propiedades farmacológicas, que fueron confirmadas por comunidades humanas que también las utilizaban con esos fines. Estos hallazgos fueron realizados por Michael Huffman, quien a partir de sus observaciones estableció cuatro criterios para diferenciar las conductas de automedicación de una conducta alimenticia o simplemente circunstancial: 1. Que la planta no se consume habitualmente por el animal; 2. Debe aportar poco y ningún valor nutricional; 3. Se consume en los periodos cuando aumentan los casos de infecciones o enfermedades, y 4. Que sólo la consumen los animales enfermos. Estos comportamientos probablemente tengan funciones adaptativas en estas especies animales, y también en los seres humanos.

Medicina pretécnica

Evidentemente, desde nuestro surgimiento como especie, los humanos y los animales nos hemos observado recíprocamente y hemos aprendido los unos de los otros sobre los recursos que la naturaleza nos ofrece. No parece descabellado que de esta observación mutua hayan surgido las prácticas de uso del sinnúmero de sustancias medicinales que los humanos llevan a cabo alrededor del mundo, pues pudimos haber adoptado esos remedios de los animales, adaptarlos a nuestras circunstancias y transmitir ese conocimiento de generación en generación.

Posiblemente nuestros ancestros homínidos en el Paleolítico inferior pudieron haber tenido comportamientos similares que observamos en los grandes simios actualmente. Primero usarían las plantas como fuentes de alimento, y en situaciones de enfermedad, probablemente buscarían plantas con ciertas características de sabor o consistencia, que la experiencia les indicaba que podrían tener efectos curativos. Recientemente, en la cueva El Sidrón, ubicada en la región española de Asturias, se descubrieron en el sarro de los dientes de individuos *Homo neanderthalensis* de hace 49,000 años, restos moleculares del consumo de plantas. Esto es relevante por dos situaciones: primero, porque se creía que los neandertales eran básicamente carnívoros, y resulta que en su dieta también incluían vegetales; y segundo, porque entre las plantas consumidas se encontraban plantas consideradas medicinales, como la Aquilea (*Achillea millefolium*) con propiedades antimicrobianas, diuréticas y digestivas, y como la manzanilla (*Chamaemelum nobile*) que alivia el dolor estomacal, la ansiedad y el estrés. El sabor de estas plantas medicinales es más bien desagradable, por lo que su consumo indicaría que fue realizado con propósitos medicinales, más que alimenticios, lo que concuerda con la automedicación observada en los primates y otras especies. También se encontraron residuos del hongo *Penicillium* y restos de álamo, lo que podría significar que los usaban como antibióticos al primero, y al segundo como analgésico, pues este árbol contiene ácido salicílico, ingrediente de la aspirina. Esto confirma que los neandertales tenían un amplio conocimiento sobre plantas y usaban algunas con fines medicinales.

También los humanos anatómicamente modernos, como cazadores recolectores, observaron las conductas de automedicación de las presas animales, y las imitarían cuando los individuos pasaban por procesos de dolor o enfermedad. También estarían presentes sustancias tóxicas que produjeran alucinaciones o incluso la muerte. La curación de enfermedades o la muerte, junto con las alucinaciones parecerían no tener explicación, por lo que pudieron ser integradas a las creencias mágico-religiosas. Evidencia de estas prácticas rituales es el hallazgo de la adormidera (*Papaver somniferum*), utilizada como sedante, analgésico y narcótico en piezas funerarias encontradas en yacimientos del Neolítico, en las cuevas de los Murciélagos y de Can Tintorer (España), donde también encontraron restos de sus derivados opiáceos en los dientes de humanos modernos.

El paso hacia el sedentarismo, junto con el desarrollo del lenguaje estructurado, permitirá la consolidación y la transmisión del conocimiento empírico sobre las plantas, y la aparición del médico brujo o chamán, que se encargaba del diagnóstico, preparación de medicamentos y los rituales con los que tratarían las dolencias de la comunidad a la que pertenecían.

Esto pone de relieve el vínculo entre las prácticas que podríamos considerar terapéuticas, con las creencias mágico-religiosas, y que caracterizan este periodo del desarrollo conocido como “medicina pretécnica”, término inventado por los griegos, que abarca toda la época prehistórica hasta aproximadamente el siglo V a. C., cuando algunos de sus médicos pugnaron por desvincular las prácticas mágicas del conocimiento y tratamiento de las enfermedades.

Sin embargo, los griegos no fueron los únicos ni los primeros en hacer un registro de las plantas medicinales. Las primeras civilizaciones de la humanidad mantuvieron el empleo de ellas sin dejar el vínculo mágico religioso, pero con el advenimiento de la escritura dejaron constancia escrita y el razonamiento de su uso. Las culturas de Mesopotamia, entre ellas la sumeria, estuvieron entre las primeras que, en tablillas de arcilla grabadas con escritura cuneiforme, describieron detalladamente aproximadamente 250 drogas vegetales y otras tantas minerales y de origen animal, e incluso incluían recetas cualitativas de medicamentos con técnicas galénicas como la pulverización, la infusión, la cocción, incluso píldoras, emplastos, ungüentos y cataplasmas, y también mencionan vías de administración por orificios naturales. Entre las plantas que refieren, están mirra, mandrágora, cannabis, regaliz, adormidera, beleño, y semillas oleaginosas. El documento médico más antiguo conocido es una tablilla de Nippur del 2100 a. C., aunque la mayoría de las fuentes de técnicas curativas provienen de la biblioteca de Asurbanipal, destruida en el 612 a. C.

Con la civilización egipcia el uso de plantas medicinales empezó a ser más racional, aunque al igual que en Mesopotamia, los sanadores seguían tratando a las enfermedades como un castigo divino, motivo por lo cual debía pedirse la intercesión de los dioses. El conocimiento y el uso de las plantas en Egipto se encontró en el papiro de Kahun (1900 a. C.) que describe remedios relacionados con enfermedades de la mujer y la asistencia al parto, y en el famoso papiro de Ebers (1500 a. C.) que refiere más de 800 drogas y fórmulas farmacéuticas que incluían plantas tales como cebolla, hinojo, ajo, azafrán, y los psicoestimulantes opio y café.

En la India se desarrolló uno de los sistemas de medicina tradicional más relevantes, el Ayurveda, cuyos principios y técnicas se empezaron a mencionar en el libro sagrado más antiguo del hinduismo, el *Rig-Veda* (2000-1000 a. C.). Aquí y en textos en sánscrito posteriores se describen la medicina, herboristería, taxología, anatomía, cirugía o alquimia, como himnos o poemas religiosos. Los textos más relevantes y en los que se basan sus practicantes son *Suśruta-saṃhitā* y *Caraka-saṃhitā*.

En China antigua, la aplicación de plantas medicinales se plasmó en el libro del emperador amarillo o *Huangdi Neijing*, de unos 3,000 años de antigüedad que es el libro de consulta de la medicina tradicional china. Sin embargo, los primeros escritos de la medicina tradicional china fueron el *Fuxi* (2900 a. C.) y el *Pen Tsao* (2800 a. C.) donde se describen 365 fármacos.

Medicina técnica

Como mencionamos anteriormente, el término medicina pretécnica, como la que mezclaba magia y religión con la medicina y la farmacia incipiente, fue establecida en la Grecia Clásica, pero durante el periodo anterior al siglo V a. C. ellos mismos utilizaban procedimientos y conjuros mágicos junto con medicamentos para curar sus dolencias. Emplearon el término *Phamacon* para referirse a los medicamentos, y como tales usaron el helecho, el ruibarbo, la pimienta, raíz de granado, opio, azafrán, y, según las obras de Homero, un analgésico y calmante llamado *Nepentes* elaborado quizás con base en la *amapola* o la cannabis. Sin embargo, favorecido por las características griegas de ese periodo, curiosidad, iniciativa, y objetividad, surgió su interés por una práctica médica más racional. Cabe subrayar que esto no apareció de la nada. Los papiros egipcios, aun con sus concepciones místicas separaron la magia y la religión de los conocimientos, digamos “científicos” sobre tratamientos y medicamentos, y fueron la fuente primaria del conocimiento sobre plantas medicinales para los griegos.

Del periodo de medicina técnica griega destaca por supuesto Hipócrates, quien postulaba que los alimentos tienen propiedades que influyen en el organismo: “Que tu alimento sea tu medicina”, por lo tanto, eran la base del tratamiento. También en sus obras recomienda el uso de algunas plantas medicinales. Platón y Aristóteles describieron las propiedades curativas o tóxicas de plantas conocidas, lo cual sentó las bases de muchos estudios posteriores sobre

los usos terapéuticos de esas plantas medicinales. Posteriormente Teofrasto realizó importantes estudios botánicos de plantas griegas y de otros lugares y también describió sus usos terapéuticos.

La cultura romana hizo propia mucha de la cultura griega y de hecho su medicina grecorromana es una medicina griega sistematizada y reconvertida en reglas y normas prácticas. Hay muchas aportaciones a la farmacia y la medicina de la cultura romana, pero en relación con las plantas medicinales podemos mencionar a Galeno, quien hizo un estudio sistematizado de 473 medicamentos de origen vegetal, animal y mineral, y sus obras se volvieron referente del saber médico hasta el punto de que llevó a que se pensara que no era necesario investigar más, ya que todo estaba estudiado. Otro personaje relevante fue el médico y botánico Dioscórides, que escribió la primera guía farmacéutica de la Antigüedad, *De materia médica*, que versa sobre plantas medicinales, describiendo sus efectos curativos, e incluye la verificación de algunas recetas ya descritas en el papiro de Ebers, siguiendo sus instrucciones.

Ya al término del Imperio Romano occidental y durante la Edad Media, los conocimientos médicos y sobre fármacos fueron conservados en los monasterios, donde se mantenían jardines de hierbas medicinales y donde se tradujeron y transcribieron los textos de los griegos y romanos como Galeno, Cratevas, Dioscórides o Plinio. En el siglo IV se escribió el *Herbarius Apluleius* con información de textos de Plinio y de Dioscórides, que incluye recetas con más de 100 plantas medicinales, y se volvió el herbario más empleado en Europa central. También los académicos musulmanes tradujeron a los clásicos griegos al árabe, pero haciendo sus propias contribuciones. De hecho, en la era de oro del Islam prosperó la herboristería en Bagdad y en Al-Andalus. Particularmente, la escuela de traductores de Toledo tradujo clásicos de la medicina árabe, entre los que destacan trabajos sobre plantas medicinales, *El libro de simples* de Abulcasis de Córdoba (936-1013), los *Medicamentos simples* de Ibn aiBaytar, también conocido como *Abemvitar* y el *Canon de medicina* de Avicena.

Época moderna

El advenimiento de la imprenta en el Renacimiento fue la época de oro de la herbolaria, pues trajo consigo un muy relevante aumento de estudios y tratamientos con plantas medicinales, muchos reflejados en textos de fitoterapia, aunque muchos de los cuales resultaron ser compilaciones de textos antiguos,

eso sí, muy exhaustivas. El médico y alquimista suizo Paracelso, uno de los más representativos de esta época, desarrolló la botánica experimental y el estudio de la fisiología vegetal, enfocándose en los principios activos de las plantas. Esto a la postre dará pie a la parte de la química que involucra al estudio de los medicamentos. Existieron muchos otros personajes muy relevantes de esos tiempos, como Hieronymus Brunschwig, quien se dedicó a la preparación de formulaciones empíricas de plantas medicinales, haciendo el primer acercamiento a sus aceites esenciales y a la fitoquímica; o Leonhart Fuchs, que con sus obras *Efigies plantarum* y *De historia sitpiiium comentarii insignes* aborda el tema de la botánica y la fitoterapia y realiza el primer intento de nomenclatura botánica. Asimismo, Nicholas Culpeper publicó *The English Physician Enlarged* o *El médico inglés ampliado*, que bien podría haber sido el herbario completo del médico inglés, donde combinó alquimia, astrología y el conocimiento de las plantas medicinales. También fue la era del contacto con las culturas de América y se inició el intercambio de ganado, cultivos y tecnología de Europa con las sociedades amerindias. Aunque en ese momento, hasta cierto punto, en América el conocimiento de las plantas medicinales estaba en la etapa pretécnica, era muy amplia y antigua, y mucho fue documentado en códices. De la cultura mexica está el *Códice Florentino* (1557) recopilado por fray Bernardino de Sahagún, donde se describen nombres de plantas medicinales y materiales de origen animal usadas por los indígenas para tratar sus enfermedades. Asimismo, está el *Códice De la Cruz-Badiano* (1552), que es la traducción al latín realizada por Juan Badiano de las descripciones del curandero Martín de la Cruz sobre los métodos curativos basados en el uso de plantas medicinales, derivados animales y minerales, que está ricamente ilustrado con dibujos a color de las plantas medicinales con sus nombres en náhuatl. La cultura maya no fue menos importante, y sus procedimientos terapéuticos fueron recopilados por los españoles en varios documentos, de los cuales el más conocido es *Relaciones de los mayas*.

Estudio sistemático

La sistematización del estudio de los seres vivos, en especial de las plantas, incluidas las plantas medicinales fue auspiciada por varios autores, entre quienes destaca Karl Von Linneus. Aplicando su nomenclatura binomial de género y

especie, nombró a más de 7,000 especies vegetales en su obra *Species plantarum* (1753). Otros personajes que realizaron más estudios sistemáticos de las plantas fueron Jean-Baptiste Lamarck y Augustin Pyrame de Candolle. El primero, mejor conocido por ser precursor de las ideas que culminaron en la teoría de la evolución de Darwin, también fue un estudioso de la identificación y clasificación de las plantas y elaboró el *Dictionnaire de Botanique de l'Encyclopédie méthodique*. Por su parte, Candolle reunió un herbario con 80,000 especies y escribió la obra *Regni vegetabilis systema naturale* (1824-1839), una enciclopedia que después continuaron su hijo y su nieto.

Durante los siglos XIX y XX, debido a la Revolución Industrial, las plantas medicinales empezaron a ser manipuladas por los farmacéuticos, y conforme avanzaban los métodos de extracción y purificación, y el análisis químico de sustancias, fueron descubiertos nuevos tipos de compuestos con actividad farmacológica. En un periodo relativamente corto se descubrieron las estructuras químicas de los principios activos y se inicia su extracción y aislamiento, y también el estudio extensivo de sus propiedades farmacológicas, y se empiezan a conocer sus mecanismos de acción. Así, los principios activos se vuelven más importantes que las plantas de las que provienen. De este modo, el uso de las plantas con fines médicos se fue progresivamente perdiendo, al igual que el carácter científico de su fundamentación, al grado de volverse medicina tradicional o popular. Pero la medicina moderna no tiene cobertura universal, y siempre han existido amplios grupos de la población que, ante esta situación, continuaron utilizando las plantas medicinales y sus derivados para tratar sus problemas de salud, a veces como alternativa, en otras ocasiones como única opción. Según la OMS, la atención primaria de salud de cerca del 84% de la población mundial depende de plantas medicinales.

Pero no es sólo por la necesidad; en el principio del siglo XX, Henri Leclerc denominó fitoterapia al uso de las plantas como medicamentos, y la designó como una rama de la medicina y una herramienta terapéutica especializada basada en evidencia científica, para ser empleada por el personal de salud. También en los años setenta resurgió lo que se conoce como medicinas alternativas, de donde salió una diferenciación de la fitoterapia, como lo que es natural, y la medicina convencional, como lo sintético.

Esto ha llevado a la maniquea premisa de que, si lo natural es bueno, y si los productos derivados de las plantas lo son, pues pueden ser empleados sin ninguna restricción, lo cual no es completamente cierto. Como cualquier medicamento, las plantas medicinales pueden causar reacciones adversas, intoxicaciones por sobredosis o interacciones no deseadas con otras sustancias. Y aunque existen agencias reguladoras y registros sanitarios sobre los productos basados en plantas medicinales en varios países, existen problemas sobre la estandarización y el ajuste de dosis en estos productos vegetales, pues hay una gran variabilidad del contenido del o los principios activos. En México, la regulación es aún más deficiente, puesto que la gran mayoría de estos productos son clasificados como suplementos alimenticios y no como medicamentos herbolarios o fitofármacos, por lo que evaden las regulaciones sanitarias para medicamentos convencionales, y en muchos casos se pueden encontrar en el mercado productos nacionales o importados con procesos de producción y control de calidad bastante deficientes.

Ciertamente existen estudios sistematizados y serios que tienen en cuenta tanto el conocimiento tradicional como criterios científicos rigurosos para la selección de plantas medicinales y para los procesos de extracción adecuados, para mantener e incluso aumentar sus características y su eficiencia farmacológica. Además, el descubrimiento de principios activos de plantas siguió siendo sumamente relevante durante todo el siglo xx y, de hecho, el descubrimiento y desarrollo de nuevos fármacos continúa tomando como fuentes primordiales a las plantas. En este tenor, el uso de productos farmacéuticos basados en plantas medicinales comienza a formar parte integral de la medicina convencional y de la farmacología.

Lecturas recomendadas

- Avello L., Marcia, & Cisternas F., Isabel. (2010). Fitoterapia, sus orígenes, características y situación en Chile. *Revista Médica de Chile*, 138(10), 1288-1293. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872010001100014>
- Berdonces, Josep Lluís. (1994-1995). Principios activos y preparaciones farmacéuticas de las plantas medicinales. *Natura Medicatrix: Revista Médica para el Estudio y Difusión de las Medicinas Alternativas*, 37-38, 42-48. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4989379>

- . (2003). Historia de la fitoterapia. *Natura Medicatrix: Revista Médica para el Estudio y Difusión de las Medicinas Alternativas*, 21(3), 142-152. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4956310>
- Cortez-Gallardo, V., Macedo-Ceja, J. P., Hernández-Arroyo, M., et al. (2004). Farmacognosia: Breve historia de sus orígenes y su relación con las ciencias médicas. *Rev Biomed.*, 15(2), 123-136.
- Costa-Neto, E. M. (2012). Zoopharmacognosy, the self-medication behavior of animals. *Interfaces Científicas - Saúde E Ambiente*, 1(1), 61-72. <https://doi.org/10.17564/2316-3798.2012v1n1p61-72>
- Figueroa Hernández, José Luis. (2009). Reflexiones respecto a plantas medicinales y su enseñanza en medicina. *Revista Digital Universitaria [en línea]*, 10(9), 10 de septiembre [Consultada: 11 de septiembre de 2009]. Disponible en Internet: <<http://www.revista.unam.mx/vol.10/num9/art55/int55.htm>>
- Hernández Rodríguez, A. (2005). Fitoterapia. Bases científicas y legales para su aplicación. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 4(4), 71-74 [Internet]. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=85640404>
- Lustre Sánchez, Hermes. (2022, marzo-abril). Los superpoderes de las plantas: Los metabolitos secundarios en su adaptación y defensa. *Revista Digital Universitaria (RDU)*, 23(2). <http://doi.org/10.22201/cuaieed.16076079e.2022.23.2.10>

¿Cómo se prueba el efecto biológico de nuevas moléculas?

BEATRIZ AGUILAR MALDONADO*

ROSA E. NAVARRO*

Resumen

Para satisfacer necesidades actuales como la resistencia a los antibióticos que están desarrollando algunas bacterias, combatir el cáncer o las enfermedades autoinmunes y mejorar nuestra calidad de vida durante el envejecimiento, activamente se están diseñando nuevos fármacos. Sin embargo, antes de utilizarse en el ser humano es importante probar su eficiencia y si estos compuestos pueden tener efectos secundarios. Para probar dichos fármacos se pueden realizar pruebas *in vitro*, es decir, con cultivos de células o *in vivo* utilizando modelos animales que van desde pequeños invertebrados como el nemátodo *Caenorhabditis elegans* y la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, a modelos vertebrados más complejos como el pez cebra y el ratón. Para realizar estos estudios es importante conocer las concentraciones a las cuales dicha molécula tiene un efecto, posteriormente probar si la molécula es tóxica o si causa daño al ADN, si disminuye la viabilidad de las células, si aumenta la letalidad embrionaria, o si afecta el crecimiento del organismo, y finalmente, conocer si

* Departamento de Biología Celular y Desarrollo, Instituto de Fisiología Celular. Universidad Nacional Autónoma de México. Correo electrónico: baguilar@ifc.unam.mx, rnavarro@ifc.unam.mx

los daños se transmiten a otras generaciones causando letalidad embrionaria o malformaciones. Cuando se utilizan organismos completos que cuentan con sistemas que absorben, metabolizan, distribuyen y eliminan a la nueva molécula, se puede obtener una mayor información sobre lo que puede suceder al administrar un compuesto. Con la ayuda de estos modelos se puede determinar si la nueva molécula puede pasar a la siguiente fase del estudio, la cual consiste en hacer pruebas clínicas en humanos. Primero en personas sanas y después en pacientes en quienes se quiere probar si la molécula nueva tiene un efecto benéfico en cierta patología.

Diseño de una nueva molécula

El diseño, la síntesis y las pruebas biológicas son los pasos generales que se realizan para obtener nuevas moléculas que pueden tener actividad terapéutica. En el método más común en la fase del diseño de nuevas moléculas con posible actividad biológica, se utilizan programas bioinformáticos que analizan la estructura química tridimensional de moléculas que ya se ha comprobado que poseen cierta actividad terapéutica. A estas moléculas es posible hacerles cambios en su estructura para probar si estas modificaciones aumentan la eficiencia de la molécula, disminuyen los efectos secundarios o si se obtienen acciones terapéuticas diferentes. Los cambios químicos en la estructura de la molécula pueden tener repercusiones a varios niveles; por ejemplo, podrían hacer que la nueva molécula se localice preferencialmente en un tejido en particular; a nivel celular se podría favorecer que la nueva molécula se degrade más lentamente y por lo tanto permanezca un mayor tiempo ejerciendo su efecto biológico, o si hablamos de un organismo completo, se podría incrementar la absorción, modificar el metabolismo o la eliminación del medicamento que contenga a la molécula nueva, o estas modificaciones incluso podrían facilitar la preparación del medicamento para administrarlo por una vía diferente que sea más accesible a los pacientes que la del medicamento que contiene la molécula sin modificar.

Una vez que ya se ha diseñado la nueva molécula, ésta debe sintetizarse, es decir, se deben realizar reacciones químicas en el laboratorio que permitan obtener una cantidad suficiente, tratando de que haya el menor número posible de productos secundarios; la síntesis puede implicar varias reacciones químicas, por lo que antes de que la nueva molécula sea probada, deberá compararse

su identidad y además deberán eliminarse todos los productos secundarios de la síntesis y las impurezas. Para probar si la nueva molécula tiene el efecto terapéutico para la que fue diseñada, se realizan primero pruebas *in vitro*, después pruebas *in vivo* y al final se realizan ensayos clínicos.

Pruebas *in vitro*

Los modelos *in vitro* son aquellos en donde se utilizan células aisladas o tejidos obtenidos de algún animal, usualmente ratas o ratones, aunque también pueden ser derivados de humanos. Los modelos *in vitro* son bastante útiles porque permiten probar las nuevas moléculas en células que son o fueron parte de un organismo completo; por lo tanto, están vivas, se duplican, son metabólicamente activas y pueden sufrir daños que incluso pueden conducirlos a la muerte. Esto es importante porque en algunas enfermedades está modificado el metabolismo, la duplicación o la resistencia de las células a morir. Se elige un tipo celular que tenga características parecidas al tejido sobre el que se quiere tener el efecto terapéutico o que tenga funciones o componentes celulares que puedan responder al estímulo de la nueva molécula; por ejemplo, pueden utilizarse células del hígado para probar una molécula que tenga efecto sobre la cirrosis hepática.

En estos modelos se trata de estudiar si la molécula nueva tiene efecto sobre alguna función celular particular, y para ello se prueban diferentes concentraciones de la molécula nueva y así se puede determinar la concentración ideal en donde se tiene el efecto terapéutico en las células sin tener otros efectos no deseados. Estos modelos también son útiles para poder conocer a qué concentración la molécula mata a las células, aunque usualmente se busca la concentración que es letal o la que mata a la mitad de la población de las células, a esto se le conoce como CL_{50} (concentración letal 50). También se estudia si se causa toxicidad en las células expuestas a la nueva molécula o si se tienen efectos en el ADN que pudieran provocar mutaciones y cambios en las células descendientes de las células expuestas, todo esto podría sugerir algunos efectos secundarios indeseables, por lo que se trata de establecer la concentración de la nueva molécula en donde se tenga el efecto biológico deseado pero que no sea tóxica para las células.

Pero ¿cómo se realizan las pruebas *in vitro*? Éste es un proceso que realiza de manera relativamente sencilla el personal que ha sido entrenado para esta

actividad y consiste en mantener a las células en cajas de Petri de plástico tratadas para que se adhieran las células al fondo de la caja, y una vez que se han duplicado y cubierto la superficie del fondo de la caja, se pasan a otras cajas nuevas y así sucesivamente; a esto se le llama “cultivo celular”. Las células son alimentadas con medios de cultivo que contienen todos los nutrientes y sustancias necesarios para que crezcan y se multipliquen, además de antibióticos que impiden que crezcan microorganismos no deseados en estos cultivos. Normalmente, las células en las cajas de Petri son mantenidas a 37 grados centígrados en una incubadora que tiene un 5% de CO₂, esto ayuda a que las células lleven a cabo sus funciones de manera muy similar a como lo harían en un organismo completo. Una vez que se ha establecido el cultivo celular que se va a utilizar para probar si la nueva molécula tiene actividad biológica, se utilizan diferentes concentraciones de ella para estudiar con cuál concentración se tiene el efecto biológico buscado, también la CL50 o cuándo empieza a haber signos de toxicidad en las células; por ejemplo, las células se pueden despegar del fondo de la caja, se multiplican más lento o pudiera haber cambios en la morfología celular; también se puede verificar si hay daño en el ADN por métodos más refinados.

Las pruebas se realizan por triplicado y varias veces para corroborar que los efectos observados sean reproducibles y no azarosos, se incluyen células que no fueron tratadas con la molécula a probar como control negativo y se espera que no haya ningún efecto sobre éstas.

Una vez que se encontró la concentración de la molécula que tiene un efecto biológico en los cultivos celulares sin que haya efectos secundarios, se trata de dilucidar los mecanismos moleculares por los cuales la molécula está teniendo el efecto biológico, esto se hace mediante estudios bioquímicos y de biología celular y molecular; todos estos estudios se realizan más fácilmente en los cultivos celulares que en un organismo completo. Una vez completado lo anterior, y si se tuvieron resultados favorables, se pueden realizar las pruebas *in vivo*.

Pruebas en organismos vivos

Los organismos modelo son de gran utilidad para probar la eficiencia y toxicidad de nuevas moléculas. Se cuenta con organismos modelo de animales invertebrados como el nematodo *Caenorhabditis elegans* o la mosca de la fruta *Drosophila melanogaster*, que son relativamente más sencillos de manipular en

el laboratorio que los organismos modelos de animales vertebrados como el pez cebra (*Danio rerio*) o el ratón *Mus musculus*. El *C. elegans* es un nematodo de vida libre que vive principalmente en el suelo alimentándose de bacterias que se encuentran en la materia en descomposición. Su ciclo de vida es relativamente corto, desarrollándose de embrión a adulto en tan sólo tres días. Su embriogénesis dura 14 horas y posteriormente tiene cuatro etapas larvarias (L1-L4). El adulto puede encontrarse en forma de hermafrodita que se autofertiliza, o de macho. Tanto la cubierta del embrión como la de las larvas y los adultos son transparentes, lo que permite observar directamente su desarrollo y tejidos.

El ciclo de vida de la mosca de la fruta es de 10-14 días, dependiendo de la temperatura, comienza con su desarrollo embrionario externo de aproximadamente 24 horas, posteriormente tiene tres estadios larvarios, la etapa de la pupa y la metamorfosis en la que se convierte en una mosca adulta ya sea macho o hembra. Tanto el nematodo como la mosca de la fruta son organismos en los que las herramientas genéticas son muy avanzadas. Sus genomas son relativamente sencillos; sin embargo, las dos terceras partes de sus genes son similares a los de los humanos. Por lo tanto, las pruebas que se hacen en estos modelos se pueden extrapolar a humanos, por ello son excelentes modelos de estudio. Tanto el *C. elegans* como la *Drosophila* tienen muchas vías de regulación que son similares a las de humanos, con la gran ventaja de que dichas vías son muy sencillas, es decir tienen pocos genes en cada vía de regulación.

En ambos modelos se cuenta con una gran variedad de organismos mutantes o transgénicos que expresan proteínas fusionadas a proteínas que emiten fluorescencia, como la proteína verde fluorescente o GFP por sus siglas en inglés. Estas proteínas de fusión nos permiten observar su localización y abundancia en los animales vivos. En organismos como la mosca de la fruta y el *C. elegans*, se pueden ensayar nuevas moléculas para ver su efecto en la sobrevivencia, fertilidad, letalidad embrionaria e incluso su efecto en la esperanza de vida gracias a que sus ciclos de vidas son cortos. Adicionalmente se pueden hacer ensayos de motricidad y algunas pruebas “neurológicas”, ya que estos modelos cuentan con un sistema nervioso muy sencillo. Ambos modelos son más económicos que otros, por lo que se pueden realizar ensayos muy grandes para probar varios compuestos a la vez. Tanto el *C. elegans* como la mosca de la fruta cuentan con varios tejidos y órganos como músculo, sistema nervioso, intestino, gónada, entre otros, por lo que se puede probar el efecto biológico en todos ellos.

El pez cebra o *Danio rerio* es un organismo muy sencillo y transparente que cuenta con un desarrollo embrionario externo. Como el nematodo y la mosca de la fruta, los peces tienen muchos hijos, lo que resulta ideal para realizar numerosas pruebas. Su desarrollo embrionario es de tan sólo dos días, mientras que su ciclo de vida se completa en aproximadamente tres meses. Pueden llegar a tener una esperanza de vida de hasta cinco años, por lo que los estudios de longevidad en este organismo se dificultan por el tiempo y el espacio que ocupan sus peceras. Su anatomía es más compleja que la de los nematodos y las moscas, ya que cuenta con cerebro, corazón, riñones, músculo, intestino, agallas, vejiga natatoria, páncreas, y sistema reproductor, por lo que es ideal para estudiar el efecto que las nuevas moléculas tienen en más órganos y tejidos. En el pez cebra también se han desarrollado herramientas genéticas y moleculares avanzadas que permiten el estudio de vías de regulación de genes. En este modelo se cuenta con una amplia colección de peces mutantes y transgénicos. El 80% de su genoma se parece al de los humanos y por esto el pez cebra es un excelente modelo para probar el efecto de nuevas moléculas en un organismo completo.

Otro modelo muy utilizado es el ratón, que es mucho más representativo del humano, al ser un mamífero. Las ventajas de utilizarlo consisten en que son fáciles de reproducir, mantener y manejar, por lo que se puede utilizar el número de ratones que se determine que cubre las condiciones que se quieren probar; su genoma es parecido al de los humanos en un 90% y las vías de regulación son muy similares. Al tratarse de un mamífero, en este modelo se pueden estudiar los procesos de absorción, metabolismo, distribución y eliminación de la nueva molécula, además de la toxicidad y presencia de efectos secundarios o mutaciones en los animales tratados o en su descendencia, por lo tanto es un modelo bastante utilizado en este tipo de pruebas.

Una de las desventajas en su uso, es que por cuestiones éticas se debe establecer el protocolo ante las comisiones de manejo de animales en las instituciones en donde se establecen el número de animales a utilizar, las condiciones experimentales para cada grupo de animales, y hasta la manera en que se dispondrá de los animales una vez que finalicen las pruebas, para evitar el sufrimiento innecesario de éstos. Otra desventaja es el tiempo que se necesita para obtener los resultados en este modelo; si se quieren estudiar, por ejemplo, efectos en el

envejecimiento, en la reproducción o en la descendencia, hay que considerar que la gestación en los ratones es de 19 días aproximadamente y su promedio de vida en el laboratorio es de dos años.

Este modelo ocupa más espacio que los anteriores y debe contarse con un lugar adecuado o bioterio para mantener a los animales durante las pruebas, con humedad, temperatura y ciclos de luz y oscuridad controlados, además de que los insumos necesarios para su alojamiento, alimentación y enriquecimiento ambiental son más costosos. Obviamente, entre más complejo sea el animal utilizado en las pruebas *in vivo*, se tendrá un mejor acercamiento a lo que probablemente sucedería en el humano al ser tratado con la nueva molécula, pero se debe ser muy meticuloso en la elección del modelo que se va a utilizar, dependiendo de los procesos que se quieran estudiar, evaluando la economía, la rapidez de la obtención de resultados, si las vías de regulación son similares a las del humano y sobre todo se trata de emplear el modelo que en su fisiología tenga los elementos necesarios para poder responder al tratamiento que quiere probarse.

Pruebas clínicas

Antes de realizar las pruebas clínicas se debe tener a la nueva molécula, ahora llamada “fármaco”, contenida en alguna forma farmacéutica o medicamento, por ejemplo: una tableta, una pomada, una ampolleta, etc., para ello se debe elegir la vía de administración en la cual el fármaco llegará más eficientemente al sitio en donde ejercerá su efecto terapéutico; por ejemplo, si se quiere tratar una lesión en la piel, se elegiría la vía tópica o local para administrar el medicamento. Existen profesionales expertos en realizar la formulación del medicamento que contendrá al fármaco, de tal forma que se logre una buena absorción, metabolismo y eliminación del fármaco. Ya que se tiene disponible el medicamento que contiene al fármaco, se procede a realizar las pruebas clínicas. En esta etapa, las pruebas son realizadas en humanos para estudiar si el fármaco conserva el efecto biológico que ya ha sido probado en las pruebas *in vitro* e *in vivo*.

Las pruebas clínicas constan de tres fases. En la fase I, el medicamento se administra a voluntarios sanos para estudiar la tolerancia al fármaco y dosis en donde se empiezan a tener efectos tóxicos. En la fase II, se usa un mayor

número de pacientes y se estudia si el fármaco llega al sitio en donde ejercerá el efecto y cuánto tiempo permanece en el organismo. En la fase III se trata de establecer si hay efecto terapéutico, la dosis óptima, y qué tan eficaz es comparado con otros fármacos; para ello se utilizan dos grupos de pacientes, unos a los que no se les dará la nueva molécula sino un “placebo”, es decir, un sustituto del medicamento que no contiene el fármaco, y otro grupo al que sí se le dará el tratamiento. Ninguno de los pacientes sabe a cuál de los dos grupos pertenece y en ocasiones se realizan estas pruebas con un sistema llamado “doble ciego”, en donde tampoco los investigadores que administran los tratamientos saben a cuál grupo pertenece cada paciente, de tal forma que los resultados sean más objetivos.

Con estas pruebas hay que tener presente que aunque se hayan tenido buenos resultados en las pruebas *in vivo*, éstas fueron realizadas en modelos animales que pueden dar un acercamiento a lo que sucedería en los humanos, pero como cada organismo se comporta de forma particular, en ocasiones se podrían tener efectos diferentes; además, al administrar el nuevo fármaco a pacientes que presentan cierta enfermedad o una combinación con otras, se pueden tener alterados los sistemas de absorción, metabolismo o eliminación de sustancias y con ello también se podría tener una disminución en el efecto terapéutico o un incremento en los efectos secundarios adversos.

Si las pruebas clínicas son positivas, el medicamento que contiene el nuevo fármaco es sometido a revisión por parte de las autoridades regulatorias sanitarias del país; en México, es la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris), que analiza los protocolos, la metodología utilizada y los resultados obtenidos para dar la aprobación en la comercialización del medicamento. Se pueden seguir realizando ensayos para ver si el fármaco sirve para otras enfermedades o en otro grupo de pacientes, o podría ser que las autoridades soliciten estudios adicionales antes de dar la aprobación para la comercialización del nuevo medicamento. Como se puede ver, los pasos para obtener nuevas moléculas con un efecto terapéuticos son tardados; en ocasiones, desde el diseño hasta la comercialización pueden pasar más de 10 años, pero cada uno de los pasos es necesario para garantizar que exista un efecto terapéutico con la menor cantidad de efectos secundarios adversos.

Lecturas recomendadas

- Atuah, KN, Hughes, D, y Pirmohamed, M. (2004). Clinical pharmacology: Special safety considerations in drug development and pharmacovigilance. *Drug Saf*, 27(8), 535-554.
- Bhattaram, VA, Bonapace, C, Chilukuri, DM, Duan, JZ, Garnett, C, Gobburu, JV, Jang, SH, Kenna, L, Lesko, LJ, Madabushi, R, Men Y, Powell, JR, Qiu, W, Ramchandani, RP, Tornoe, CW, Wang, Y, y Zheng JJ. (2007). Impact of pharmacometric reviews on new drug approval and labeling decisions: A survey of 31 new drug applications submitted between 2005 and 2006. *Clin Pharmacol Ther*, 81(2), 213-221.
- Cahana, A, y Romagnoli, S. (2007). Not all placebos are the same: A debate on the ethics of placebo use in clinical trials versus clinical practice. *J Anesth*. 21(1), 102-105.
- Castel, JM, Figueras, A, y Vigo, JM. (2006). The internet as a tool in clinical pharmacology. *Br J Clin Pharmacol*, 61(6), 787-790.
- Chawla, PS, y Kochar, MS. (2006). What's new in clinical pharmacology and therapeutics. *WMI*, 105(3), 24-29.
- Dal-Re, R, y Costa, J. (2007). Informing clinical trials participants about the results. *Med Clin*, 128(10), 375-378.
- Dash, SN, y Patnaik, L. (2023). Flight for fish in drug discovery: A review of zebrafish-based screening of molecules. *Biol. Lett.*, 19, 20220541.
- Day, S, Green, S, y Machin, D. (Eds). (2004). *Textbook of clinical Trials*. Nueva York: John Wiley & Sons.
- Dickson, M, y Gagnon, JP. (2004). Key factors in the rising cost of new drug discovery and development. *Nat Rev Drug Discov*, 3, 417-429.
- DiMasi, JA. (2001). New drug development in the United States from 1963 to 1999. *Clin Pharmacol Ther*, 69, 286-296.
- Evans, WE, y Relling, MV. (2004). Moving towards individualized medicine with pharmacogenomics. *Nature*, 429, 464-468.
- Giacinti, L, Lopez, M, y Giordano, A. (2006). Clinical trials. *Front Biosci*, 11, 2918-2923.
- Giunti, S., Andersen, N., Rayes, D., y De Rosa, MJ. (2021). Drug discovery: Insights from the invertebrate “Caenorhabditis elegans”. *Pharmacol Res Perspect*, 9(2), e0071.
- Gray, JD, Danoff, D, y Shepherd, AM. (2007). Clinical pharmacology education: Looking into the future. *Clin Pharmacol Ther*, 81(2), 305-308.

- Herman, ZS. (2005). Progress and dilemma of contemporary clinical pharmacology. *Int J Clin Pharmacol Ther*, 43(1), 43-50.
- Huang, SM, Temple, R, Throckmorton, DC, y Lesko, LJ. (2007). Drug interaction studies: Study design, data analysis, and implications for dosing and labeling. *Clin Pharmacol Ther.*, 81(2), 298-304.
- Katz, R. (2004). FDA: Evidentiary standards for drug development and approval. *Neuro Rx.*, 1(3), 307-316.
- Knowles, J, y Gromo, G. (2003). Target selection in drug discovery. *Nat Rev Drug Discov*, 2(1), 63-69.
- Kuhlmann, J. (2004). Clinical-pharmacological aspects to accelerate the development process from the preclinical to the clinical phase/ 2nd communication: Promising strategies. *Arzneimittelforschung*, 54(6), 307-313.
- Leach, Andrew R. (2001). *Molecular Modelling, Principles and Applications* (2ª edición). Pearson/Prentice Hall.
- Lemaire, F. (2004). Patient care versus research: Does clinical research provide individual benefit to patients enrolled in trials? *Curr Opin Crit Care*, 10(6), 565-569.
- Lesko, LJ. (2007). Paving the critical path: How can clinical pharmacology help achieve the vision? *Clin Pharmacol Ther*, 81(2), 170-177.
- Moscucci, M, et al. (1987). Blinding, unblinding, and the placebo effects: An analysis of patients' guesses of treatment assignment in a double-blind clinical trial. *Clin Pharmacol Ther*, 43, 290.
- Munnik, C., Xaba, MP, Malindisa, ST, Russell, BL, y Sooklal, SA. (2022). *Drosophila melanogaster*: A platform for anticancer drug discovery and personalized therapies. *Front. Genet.*, 13, 949241.
- Naidoo, J, Brady, J, Field, MJ, Gao, J, y Hann, M. (2006). *Modelling Molecular Structure and Reactivity in Biological Systems*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- Peck, C. (2007). Preventing post marketing changes in recommended doses and marketing withdrawals. *Ernst Schering Res Found Workshop*, 59, 209-226.
- Reichert, JM. (2003). Trends in development and approval times for new therapeutics in the United States. *Nat Rev Drug Discov*, 2, 695-702.
- Sakamoto, J, y Morita, S. (2007). From translational research to a large randomized clinical trial: A long and strenuous way from bench to bedside. *Nagoya J Med Sci*, 69(1-2), 9-16.
- Schreiber, SL, Kapoor, TM, y Wess, G. (2007). *Chemical Biology: From Small Molecules to Systems Biology and Drug Design*. Wiley.

- Shaughnessy, M, Beidler, SM, Gibbs, K, y Michael, K. (2007). Confidentiality challenges and good clinical practices in human subject's research: Striking a balance. *Top Stroke Rehabi*, 14(2), 1-4.
- Shulman, SR, Hewitt, P, y Manocchia, M. (1993). Studies and inquiries into the FDA regulatory process: A historical review. *Drug Inf J*, 29, 385.
- Wouters, OJ, McKee, M, y Luyten, J. (2020). Estimated Research and Development Investment Needed to Bring a New Medicine to Market, 2009-2018. *JAMA*, 323(9), 844-853.
- Young, David C. (2009). *Computational Drug Design. A Guide for Computational and Medicinal Chemists*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Zewail, A. (2008). *Physical Biology: From Atoms to Medicine*. Imperial College Press.

Un lonche tapatío a través de la teoría de las representaciones sociales

AARÓN GONZÁLEZ PALACIOS*

FÁTIMA SERRANO CORNEJO**

La teoría de las representaciones sociales, propuesta por Serge Moscovici en la década de 1970, nos invita a explorar cómo los grupos sociales construyen y comparten significados sobre el mundo que les rodea. Estos significados, denominados representaciones sociales, son mucho más que simples ideas; son sistemas complejos de creencias, valores, actitudes y prácticas que guían nuestra forma de pensar, sentir y actuar.

Un ejemplo cotidiano y delicioso para entender esta teoría en la cultura tapatía (de la ciudad de Guadalajara, Jalisco) es el “lonche”. Más allá de ser simplemente una comida, que en el resto del país es conocida como “torta”, el “lonche” es una representación social que evoca una serie de imágenes, sabores, emociones y experiencias compartidas por los habitantes de Guadalajara.

Cuando un foráneo llega a la ciudad de Guadalajara y pasea por el centro de la ciudad y de repente ve locales comerciales llamados “loncherías”, le resulta extraño que en ese lugar vendan algo parecido a una “torta”. Ya sea de pierna, de jamón, de panela, de frijoles o un “amparito”, para el tapatío resulta sumamente pertinente hacer la distinción de los lonches y las tortas, porque en el pensamiento colectivo del tapatío la torta es ahogada.

El lonche, como objeto social, sirve al tapatío para organizar su comportamiento. Puede ser que decida comer en la calle un “lonche” o que se prepare un

* Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Departamento de Disciplinas Filosófico, Metodológicas e Instrumentales y su último grado es: Doctor en Psicología

** Sistema de Educación Media Superior, Escuela Preparatoria de Jalisco

“lonche” antes de salir de su casa para comer más tarde, o puede invitar a sus compañeros a comer a los “lonches de los 3 alegres compadres”, establecimiento que se encuentra enfrente del parque Morelos en el corazón de la ciudad de Guadalajara. Sea cual sea la decisión, todos los involucrados en la situación saben que un lonche es un birote relleno de algún guisado y que puede tener salsa. Los lonches en Guadalajara son tan variados como las tortas de la ciudad de México, pero para los tapatíos una torta es ahogada o se hace con un tipo de pan llamado telera.

El “lonche” como representación social: un caso de estudio

Al invitar a alguien a un “lonche”, los tapatíos están transmitiendo mucho más que una invitación a comer. Están compartiendo una parte esencial de su cultura, sus tradiciones y su identidad. El “lonche” es un símbolo de la vida cotidiana, un alimento que se puede transportar y compartir con amigos y familiares, para compartir historias y fortalecer lazos sociales. Pero ¿qué hace que el “lonche” sea una representación social? Construcción social: el “lonche” no es una entidad fija y universal, sino una construcción social que ha evolucionado a lo largo del tiempo y varía según los diferentes grupos sociales. Sus ingredientes, su preparación y el lugar donde se consume son el resultado de procesos históricos, culturales y sociales. Significado compartido: el “lonche” tiene un significado compartido por los miembros de una comunidad. Este significado se transmite de generación en generación a través de la interacción social, la comunicación y la experiencia directa. Función social: las representaciones sociales cumplen diversas funciones en la vida social. En el caso del “lonche”, esta función es múltiple: sirve para identificar y diferenciar a un grupo social (porque sólo los tapatíos les dicen lonches a las tortas, dicen los foráneos), para regular las interacciones sociales y para construir una identidad colectiva (curiosamente esta identidad se construye en la demarcación de la torta ahogada con el lonche).

La teoría de las representaciones sociales: un recorrido histórico y sus aportes

La teoría de las representaciones sociales (RS) ha tenido un gran impacto en las ciencias sociales, particularmente en la psicología social. A lo largo de su historia, esta teoría ha logrado:

- Articular lo individual y lo colectivo: las representaciones sociales son tanto individuales como colectivas. Se construyen a través de la interacción social, pero también se internalizan y se convierten en parte de nuestra identidad individual.
- Demostrar la estructura del pensamiento social: las representaciones sociales no son un conjunto caótico de ideas, sino que tienen una estructura interna y se organizan en torno a núcleos centrales.
- Ofrecer una gran flexibilidad metodológica: la teoría de las representaciones sociales se ha aplicado a una amplia variedad de temas y contextos, utilizando diferentes métodos de investigación.

Las representaciones sociales (RS), según Ramos Esquivel (2011), destacan por dos características principales: en primer lugar, son un concepto que se encuentra en la intersección de la psicología y la sociología, lo que las hace eminentemente psicosociológicas. En segundo lugar, tienen una “composición polimorfa”, lo que significa que integran diversos conceptos que, por separado, podrían parecer más limitados. Estas características hacen de las RS un concepto amplio que abarca una variedad de fenómenos y procesos, en lugar de centrarse en objetos claramente diferenciados.

Ramos Esquivel resalta la importancia de las RS en la vida cotidiana, especialmente en lo que respecta al conocimiento de “sentido común”. Apoyándose en autores clásicos como Moscovici (1979), Jodelet (1986) e Ibáñez (2001), subraya que las representaciones sociales cumplen la función de regular la información científica mediante las reglas del sentido común. En otras palabras, permiten hacer comprensible lo desconocido, apropiarse de lo ajeno y dar visibilidad a lo que normalmente no se percibe.

Sammut, Andreouli, Gaskell y Valsiner (2015) explican que la teoría de las representaciones sociales describe cómo un grupo social construye una comprensión compartida de ciertos aspectos de la realidad. Esta comprensión influye en la forma en que los miembros del grupo perciben el mundo y los acontecimientos que los rodean, de manera característica del grupo. En otras palabras, el significado de las cosas no está dado por las cosas mismas, sino que es el resultado de una interpretación colectiva desarrollada entre las personas que comparten un mismo fenómeno social.

Los autores definen las representaciones sociales como un conjunto de valores, ideas y prácticas que ayudan a establecer el orden social y facilitan la comunicación entre los miembros de un grupo. Estas representaciones permiten a las personas entender la realidad social de una manera compartida: hacen que los objetos, personas y acontecimientos sean familiares y guían la interacción social significativa. Además, subrayan que el enfoque de las representaciones sociales se ha convertido en un método clave para estudiar la cultura en diferentes grupos socioculturales, ya que proporciona una visión del “sentido común” que explica y justifica ciertas prácticas humanas.

Ibáñez (2001) destaca la importancia de las representaciones sociales en la comunicación diaria. En las conversaciones cotidianas, estas representaciones sirven como un trasfondo de significados compartidos. Aunque usamos un código lingüístico común, algunos conceptos pueden tener significados específicos que sólo son comprendidos por quienes pertenecen a un determinado grupo social. Un claro ejemplo de esto es la diferenciación que hacemos los tapatíos entre el “lonche” y la “torta” (ahogada generalmente), así como también en el doble sentido que ciertas palabras pueden tener dentro de un grupo.

Ibáñez también señala que las representaciones sociales ejercen un papel crucial cuando aparecen nuevos objetos sociales en nuestra vida diaria. Este proceso es similar al concepto de “equilibración” propuesto por Piaget (1978). Cuando surge nueva información que desafía nuestras creencias o conocimiento existente, provoca un desequilibrio en nuestra estructura cognitiva. A partir de ahí, intentamos integrar esta información, comparándola y adaptándola a lo que ya conocemos, hasta que logramos acomodarla en nuestro pensamiento.

Además, las representaciones sociales son fundamentales en la formación de identidades personales y sociales, así como en la configuración de grupos y relaciones entre ellos. Ibáñez compara estas funciones con un «nudo borromeo», donde todo está interconectado. Por ejemplo, la identidad de un “tapatío” se refleja en representaciones sociales como el tejuino, la torta ahogada, el birote y la jericalla, que son elementos culturales que unen a las personas dentro de ese grupo.

Ovejero Bernal (2010) revisa la psicología social de los grupos y establece 10 elementos clave para definir un grupo. Entre ellos, la participación en interacciones frecuentes, el compartir normas comunes, y el actuar de manera

unificada respecto a su entorno. Las representaciones sociales, por tanto, son esenciales para la configuración y cohesión de grupos, especialmente en lo que respecta a la adopción de normas, la asunción de roles, y la acción colectiva, particularmente la acción colectiva de diferenciar la torta (ahogada generalmente) de un lonche.

En su obra de 2002, Arraya Umaña identifica cuatro funciones clave de las representaciones sociales. En primer lugar, la función de “comprensión”, que nos permite interpretar y darle sentido al mundo que nos rodea. En segundo lugar, la “valoración”, mediante la cual podemos emitir juicios o evaluaciones sobre diferentes hechos. La tercera función es la de “comunicación”, a través de la cual las personas interactúan al crear y recrear sus representaciones sociales. Finalmente, está la función de “actuación”, que se ve influenciada y dirigida por estas representaciones sociales.

Moscovici (1988) propuso que existen *tres tipos de representaciones sociales* (Moloney y Walker, 2007; Rodríguez Salazar, 2007; Sammut, Andreouli, Gaskell & Valsiner, 2015).

Primero, las *representaciones hegemónicas* son aquellas compartidas por todos los miembros de un grupo altamente estructurado, como un partido, una ciudad o una nación, aunque no hayan sido creadas directamente por ellos. Estas representaciones dominan en las prácticas simbólicas o afectivas y son percibidas como uniformes y coercitivas. Rodríguez Salazar (2007) señaló que las representaciones hegemónicas cumplen dos funciones principales: a) convencionalizar los objetos, personas y eventos que encontramos, y b) prescribir el comportamiento en relación con ciertos objetos. Luego, están las *representaciones emancipadas*, que surgen de la circulación de conocimientos e ideas dentro de subgrupos que mantienen un contacto más o menos cercano. Cada subgrupo genera su propia versión de estas representaciones y las comparte con otros. Estas representaciones poseen un grado de autonomía y cumplen una función complementaria al intercambiar y compartir interpretaciones o símbolos. Por último, se encuentran las *representaciones polémicas*, que emergen en contextos de conflicto o controversia social. A diferencia de las anteriores, no son compartidas por la sociedad en su conjunto. Están determinadas por relaciones antagónicas entre los miembros del grupo y son mutuamente excluyentes, a menudo expresadas en un diálogo con un interlocutor imaginario.

Moscovici (1979) destacó que la representación social se estructura en torno a tres dimensiones clave: la *actitud*, la *información* y el *campo de representación* o imagen.

La “actitud” se refiere a la “orientación global en relación con el objeto de la representación social” (p. 47), es decir, cómo nos posicionamos frente a ese objeto.

La “información”, por su parte, abarca la organización de los conocimientos que un grupo posee sobre un objeto social, constituyendo una dimensión crucial para comprender cómo se estructuran estas representaciones (p. 45). Finalmente, el “campo de representación” hace alusión a la idea de imagen o modelo social. Este concepto se refiere al contenido concreto y limitado de las proposiciones que se centran en un aspecto específico del objeto de la representación. Moscovici explica que este campo de representación implica una imagen formada por una “unidad jerarquizada de los elementos” que lo componen, y su amplitud y los puntos centrales que lo estructuran pueden variar (p. 46).

Observaciones como las de Rouquette (2010) y Ramos Esquivel (2011) añaden complejidad a la delimitación del discurso teórico, revelando que éste se comporta como una estructura rizomática (siguiendo el modelo propuesto por Deleuze y Guattari [1997]). En este modelo epistemológico, la organización de los elementos se asemeja a la de un tubérculo, donde cualquier elemento puede influir o incidir en otro, sin seguir un orden jerárquico preestablecido. En este contexto, diversos autores (Banchs, 2000; Rateau, Moliner, Guimelli y Abric, 2012; Rateau y Lo Monaco, 2013) identifican al menos tres grandes orientaciones dentro de la teoría de las representaciones sociales: a) la sociogenética; b) la estructural, y c) la sociodinámica.

La *orientación sociogenética* o procesual es el modelo inicial propuesto por Moscovici y posteriormente desarrollado por autores como Denis Jodelet en Francia, Wolfgang Wagner en Austria, Uwe Flick en Alemania, y Gerard Duveen y Sandra Jovchelovich en Inglaterra (Rodríguez Salazar, 2007: 163). Este enfoque establece las bases para los desarrollos teóricos posteriores.

Centrada en el surgimiento y la circulación de las representaciones sociales (Banchs, 2000; Rodríguez Salazar, 2007; Rateau *et al.*, 2012; Rateau y Lo Monaco, 2013), uno de sus principios fundamentales es que una representación social emerge cuando una situación novedosa, un fenómeno desconocido o

un evento inusual se presenta en la dinámica social. Dado que la información sobre este nuevo objeto social es limitada, incompleta y dispersa, su naturaleza polimórfica lo hace aún más complejo.

Según Rodríguez Salazar (2007), Moscovici identificó tres condiciones fundamentales para la emergencia de una representación social:

1. **Dispersión de la información.** La información que circula en la sociedad se distribuye de manera desigual y selectiva.
2. **Focalización.** Las personas y grupos seleccionan perceptivamente ciertos aspectos de la realidad que responden a sus intereses.
3. **Presión a la inferencia.** El sentido común extrae consecuencias o inferencias de la información considerada relevante en un momento dado (p. 160).

Rateau y Lo Monaco (2013) señalan que estas tres condiciones se despliegan dentro de dos procesos que Moscovici llamó: a) *objetivación*, y b) *anclaje*.

De acuerdo con Arraya Umaña (2002), el proceso de objetivación no sólo ha sido desarrollado en la teoría de las representaciones sociales, sino también en otras disciplinas como la sociología del conocimiento, la lingüística y la cognición social. Diversos autores reconocen que la objetivación se desarrolla en al menos tres fases:

1. **Construcción selectiva.** Esta fase implica la depuración de la información utilizable sobre el objeto de la representación. Cuando un objeto es nuevo, la información disponible suele ser dispersa y confusa, lo que lleva a la atribución de múltiples significados (Valencia Abúndiz, 2007).

2. **Modelo/núcleo figurativo.** Moscovici (1979) lo define como el “esquema de la organización”, resultado de una coordinación que concreta los términos de la representación (p. 86). Este modelo cumple tres funciones principales:

- a. Servir como un punto común entre el fenómeno nuevo y su representación, aunque su exactitud sea relativa.
- b. Traducir los conceptos abstractos relacionados con el fenómeno nuevo en referentes materiales o reales.
- c. Vincular los componentes en una serie independiente con una dinámica particular. Moscovici (1979) explica que el modelo figurativo, al penetrar en el medio social como expresión de lo “real”, se naturaliza y

se utiliza como si fuera una parte directa de la realidad. Esto permite que la representación se convierta en un marco cognitivo estable que orienta percepciones y juicios sobre el comportamiento y las relaciones interpersonales.

3. Naturalización. En esta fase la representación se emplea como un elemento de comunicación entre los individuos, convirtiéndose en una “teoría profana” autónoma y adquiriendo una categoría de evidencia dentro del grupo social.

El proceso de *anclaje* es considerado el complemento de la objetivación (Valencia, 2007; Rateau *et al.*, 2012; Rateau y Lo Monaco, 2013). Según Sammut *et al.* (2015), “el anclaje se refiere a un proceso de clasificación mediante el cual lo nuevo y lo desconocido se integran dentro de un marco de referencia familiar” (p. 9).

Rateau *et al.* (2012) explican que la integración de un nuevo objeto en un sistema preexistente de normas y valores no ocurre sin fricciones. Este contacto entre lo nuevo y lo viejo genera una mezcla innovadora que reactiva marcos de pensamiento habituales para incorporar el nuevo objeto. Como resultado, una representación social siempre se percibe tanto como innovadora como duradera, cambiante e inmutable (p. 483).

Moscovici (1979) destacó que a través del proceso de anclaje, la sociedad transforma el objeto social en un instrumento disponible y lo sitúa dentro de una escala de preferencias en las relaciones sociales existentes (p. 121).

Diversos autores (Jodelet, 1986; Arraya Umaña, 2002; Valencia Abúndiz, 2007) identifican al menos tres modalidades de anclaje:

1. Conferir significado al objeto representado.
2. Utilizar la representación como un sistema de interpretación del mundo social y como un marco e instrumento de conducta.
3. Integrar la representación dentro de un sistema de recepción y adaptar los elementos de este sistema a la nueva representación.

Desafíos y perspectivas futuras

A pesar de sus logros, la teoría de las representaciones sociales ha enfrentado algunos desafíos. Uno de los principales es la falta de una formulación teórica completamente desarrollada. Además, la teoría ha sido criticada por su enfoque excesivamente descriptivo y por su falta de precisión conceptual.

Sin embargo, la teoría de las representaciones sociales sigue siendo una herramienta valiosa para comprender cómo los seres humanos construimos sentido del mundo que nos rodea. Al estudiar las representaciones sociales, podemos obtener una visión más profunda de los procesos sociales, culturales y psicológicos que dan forma a nuestras vidas.

Conclusión

El “lonche” tapatío es un ejemplo perfecto de cómo la teoría de las representaciones sociales puede ayudarnos a comprender fenómenos sociales aparentemente simples. Al analizar el significado que los individuos y los grupos atribuyen al “lonche”, podemos desvelar las complejas dinámicas sociales que subyacen en nuestras vidas cotidianas.

Todo foráneo que llega a Guadalajara muy probablemente termine consumiendo un “lonche” (ya sea de los “amparito”, o de los tres alegres compadres, o los de la playita) y también muy probablemente consuma una torta ahogada. Puede que para los ojos del extranjero, la única diferencia radique en que una está ahogada en salsa de jitomate y el otro, no necesariamente, porque también hay lonches bañados, pero para el tapatío estas sutiles diferencias le dan sentido al “sentido común” de ir por un lonche...

Lecturas recomendadas

- Arraya Umaña, S. (2002). *Las representaciones sociales: Ejes teóricos para su discusión*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO).
- Banchs, M. A. (2000). Aproximaciones procesuales y estructurales al estudio de las representaciones sociales. *Papers on Social Representations*, 9, 1-15.
- Deleuze, G., & Guattari, F. (1997). *Rizoma*. (2ª edición). Pre-textos.
- Ibáñez, T. (2001). Representaciones sociales: Teoría y método. *Psicología social construccionista* (2ª ed., pp. 153-216). Universidad de Guadalajara.
- Jodelet, D. (1986). La representación social: Fenómenos, concepto y teoría. En S. Moscovici (ed.), *Psicología social*. (Vol. 2, pp. 469-494). Paidós.
- Moloney, G., & Walker, I. (2007). *Social Representations and Identity* (G. Moloney & I. Walker, Eds.). Estados Unidos: Palgrave Macmillan. <https://doi.org/10.1057/9780230609181>
- Moscovici, S. (1979). *El psicoanálisis, su imagen y su público*. Editorial Huemul.

- . (1988). Notes towards a description of Social Representations. *European Journal of Social Psychology*, 18(3), 211-250. <https://doi.org/10.1002/ejsp.2420180303>
- Ovejero Bernal, A. (2010). Psicología social de los grupos. *Psicología social: Algunas claves para entender la conducta humana* (pp. 89-106). Biblioteca Nueva.
- Piaget, J. (1978). *La equilibración de las estructuras cognitivas. Problema central del desarrollo*. Siglo XXI Editores.
- Ramos Esquivel, J. (2011). Representaciones sociales: Una perspectiva sobre la sociedad pensante. En A. Ovejero Bernal & J. Ramos Esquivel (eds.), *Psicología social crítica* (pp. 195-216). Biblioteca Nueva.
- Rateau, P., Moliner, P., Guimelli, C., & Abric, J.-C. (2012). Social Representation Theory. *Handbook of theories of social psychology*. (Vol. 2, pp. 477-497). <https://doi.org/10.4135/9781446249222>
- Rateau, P., & Lo Monaco, G. (2013). La teoría de las representaciones sociales: Orientaciones conceptuales, campos de aplicaciones y método. *CES Psicología*, 6(1), 22-42. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423539419003>
- Rodríguez Salazar, T. (2007). Sobre el estudio cualitativo de la estructura de las representaciones sociales. En T. Rodríguez Salazar & M. de L. García Curiel (eds.), *Representaciones sociales. Teoría e investigación* (pp. 157-190). Universidad de Guadalajara.
- Rouquette, M.-L. (2010). La teoría de las representaciones sociales hoy: Esperanzas e impases en el último cuarto de siglo (1985-2009). *Polis: Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial*, 6(1), 133-140. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=72616110006>
- Sammut, G., Andreouli, E., Gaskell, G., & Valsiner, J. (2015). Social representations: A revolutionary paradigm? En G. Sammut, E. Andreouli, G. Gaskell, & J. Valsiner (eds.), *The Cambridge Handbook of Social Representations* (pp. 3-11). Cambridge University Press.
- Valencia Abúndiz, S. (2007). Elementos de la construcción, circulación y aplicación de las representaciones sociales. En T. Rodríguez Salazar & M. de L. García Curiel (eds.), *Representaciones sociales. Teoría e investigación* (pp. 51-88). Universidad de Guadalajara.

¿Cómo la gamificación revoluciona la educación?

AIMÉE ARGÜERO FONSECA*

MARTHA BERENICE MEZA DÁVALOS**

Introducción

La gamificación, definida como la aplicación de elementos y principios de los juegos en contextos no lúdicos, está revolucionando diversos campos, incluyendo la ciencia. Este enfoque innovador está transformando la enseñanza, la investigación y la comunicación científica, haciéndola más accesible, atractiva y efectiva para una audiencia amplia (Deterding *et al.*, 2011). Las nuevas generaciones, habituadas a la estimulación constante y rápida de la tecnología, encuentran en la gamificación una forma ideal de interactuar con la ciencia. En este capítulo se explora cómo la gamificación se ha convertido en una herramienta poderosa en la educación científica, detallando su impacto, implementación y retos.

Las nuevas generaciones, conocidas como nativos digitales, están habituadas a la estimulación constante y rápida de la tecnología. Sus cerebros funcionan de manera diferente debido a la exposición continua a dispositivos electrónicos y a la inmediatez de la información. Estos cambios en el procesamiento cognitivo requieren métodos educativos que capten su atención y mantengan su interés.

* Universidad Autónoma de Nayarit. Correo electrónico: aimee.arguero@uan.edu.mx

** Universidad Autónoma de Nayarit.

La gamificación, con su uso de recompensas inmediatas, desafíos constantes y *feedback* (retroalimentación) en tiempo real, responde a estas necesidades de manera efectiva (Hamari *et al.*, 2014).

El aumento de la digitalización y la disponibilidad de herramientas tecnológicas han facilitado la implementación de la gamificación en diversos contextos educativos. Plataformas como Kahoot!, Classcraft y Duolingo han demostrado ser efectivas en la creación de experiencias de aprendizaje interactivas y participativas (Sailer *et al.*, 2017). Estas herramientas no sólo incrementan la motivación y el compromiso de los estudiantes, sino que también promueven el pensamiento crítico y la resolución de problemas.

En la educación científica, la gamificación se ha convertido en una herramienta poderosa para captar el interés de los estudiantes y mejorar su comprensión de conceptos complejos. Al integrar mecánicas de juego como puntos, recompensas y desafíos, los educadores pueden crear experiencias de aprendizaje más dinámicas y participativas (Kapp, 2012). Este enfoque no sólo aumenta la motivación y el compromiso de los alumnos, sino que también fomenta habilidades cruciales como el pensamiento crítico y la resolución de problemas.

La gamificación facilita la comprensión de conceptos científicos complejos al presentar la información de manera más accesible y atractiva. Por ejemplo, los juegos educativos pueden simular fenómenos científicos, permitiendo a los estudiantes experimentar y explorar conceptos de manera interactiva (Annetta *et al.*, 2009). Esta metodología no sólo enriquece el proceso de aprendizaje, sino que también lo hace más disfrutable, convirtiendo tareas que podrían parecer tediosas, en actividades estimulantes y llenas de retos.

Uno de los principales beneficios de la gamificación es su capacidad para aumentar la participación y el compromiso de los estudiantes. Las mecánicas de juego como recompensas inmediatas y desafíos constantes mantienen a los estudiantes motivados y enfocados en sus tareas. Además, el *feedback* en tiempo real les permite ajustar sus estrategias y mejorar continuamente su desempeño (Domínguez *et al.*, 2013).

Otro beneficio significativo es la capacidad de la gamificación para fomentar la colaboración y la competencia saludable entre los estudiantes. Las actividades gamificadas a menudo incluyen elementos de trabajo en equipo y competencia, lo que puede mejorar las habilidades sociales y la capacidad de trabajar en grupo. Esta dinámica también puede aumentar el sentido de pertenencia

y comunidad en el aula, creando un entorno de aprendizaje más positivo y apoyado (Nicholson, 2015).

A pesar de los numerosos beneficios, la gamificación también presenta desafíos. Uno de los principales retos es encontrar el equilibrio adecuado entre entretenimiento y educación. Es crucial que las actividades gamificadas sean divertidas y atractivas, pero también deben mantener un alto nivel de rigurosidad académica para asegurar que los objetivos educativos se cumplan (Nicholson, 2015).

Además, la gamificación debe ser inclusiva y accesible para todos los estudiantes. Esto implica considerar sus diversas necesidades y habilidades y proporcionar adaptaciones cuando sea necesario. Un enfoque inclusivo en el diseño de actividades gamificadas puede asegurar que todos los estudiantes, independientemente de sus habilidades o antecedentes, puedan participar y beneficiarse de estas metodologías innovadoras (Sánchez *et al.*, 2020).

La gamificación en la educación científica está en constante evolución. A medida que las tecnologías avanzan y se desarrollan nuevas herramientas, las posibilidades para la gamificación continúan expandiéndose. La investigación continua y la evaluación son esenciales para mejorar y adaptar las estrategias gamificadas a las necesidades cambiantes de los estudiantes y el entorno educativo (Werbach & Hunter, 2012).

La gamificación en la educación científica

La gamificación ha emergido como una metodología educativa innovadora y eficaz que transforma el proceso de aprendizaje científico, haciendo que la adquisición de conocimientos sea más atractiva y dinámica. En esta sección se profundiza en los conceptos fundamentales de la gamificación, su impacto en la motivación y el compromiso estudiantil, y cómo facilita la comprensión de conceptos complejos.

Conceptos fundamentales de la gamificación

La gamificación se basa en la aplicación de elementos de diseño de juegos, tales como puntos, niveles, recompensas y desafíos, en contextos que no son tradicionalmente lúdicos (Deterding *et al.*, 2011). En el ámbito educativo, estos elementos se integran en el currículo y en las actividades de aprendizaje para

fomentar la participación activa y el compromiso de los estudiantes. Los juegos se diseñan para ser divertidos y desafiantes, lo que estimula a los estudiantes a continuar participando y aprendiendo.

Según Kapp (2012), la gamificación en la educación se enfoca en crear un entorno donde los estudiantes se sientan motivados a aprender y a explorar nuevos conocimientos de manera autónoma. Esto se logra mediante la introducción de mecánicas de juego que recompensan la participación y el logro de objetivos específicos. Por ejemplo, los estudiantes pueden ganar puntos por completar tareas, avanzar de nivel al dominar ciertos contenidos, o recibir insignias por alcanzar logros significativos en su aprendizaje.

Impacto en la motivación y el compromiso estudiantil

Uno de los principales beneficios de la gamificación es su capacidad para aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes. Las mecánicas de juego, como las recompensas inmediatas y los desafíos constantes, satisfacen las necesidades psicológicas básicas de competencia, autonomía y relación social (Ryan & Deci, 2000). Al sentirse competentes y autónomos, los estudiantes están más motivados para participar activamente en el proceso de aprendizaje.

Hamari, Koivisto y Sarsa (2014) realizaron una revisión de estudios empíricos sobre la gamificación y encontraron que, en general, la gamificación tiene un impacto positivo en la motivación y el compromiso de los estudiantes. Por ejemplo, los estudiantes que participan en actividades gamificadas suelen mostrar una mayor persistencia en las tareas, un mayor interés en los contenidos educativos y una actitud más positiva hacia el aprendizaje. La gamificación también puede reducir la ansiedad y el aburrimiento, dos factores que a menudo disminuyen la motivación de los estudiantes.

Además, la competencia amistosa y la colaboración son aspectos clave de la gamificación que pueden mejorar el entorno de aprendizaje. La competencia puede impulsar a los estudiantes a esforzarse más para superar a sus compañeros, mientras que la colaboración puede fomentar el trabajo en equipo y el aprendizaje colectivo. Este equilibrio entre competencia y colaboración puede crear un ambiente de aprendizaje dinámico y estimulante (Domínguez *et al.*, 2013).

Mejora de la comprensión de conceptos complejos

La gamificación también facilita la comprensión de conceptos científicos complejos al presentar la información de manera interactiva y atractiva. Los juegos educativos pueden simular fenómenos científicos, permitiendo a los estudiantes experimentar y explorar conceptos en un entorno seguro y controlado. Esta metodología de aprendizaje experiencial puede ser particularmente útil en la enseñanza de disciplinas científicas, donde la visualización y la experimentación son cruciales.

Annetta *et al.* (2009) demostraron que los juegos educativos pueden mejorar significativamente el rendimiento académico de los estudiantes en áreas como la biología y la física. En su estudio, los estudiantes que utilizaron juegos educativos para aprender sobre genética mostraron una mejor comprensión de los conceptos y una mayor retención de la información, en comparación con aquellos que recibieron instrucción tradicional. Estos resultados sugieren que la gamificación no sólo aumenta la motivación de los estudiantes, sino que también mejora su capacidad para comprender y retener información científica.

Además, la gamificación puede fomentar el desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y resolución de problemas. Los juegos educativos a menudo presentan problemas complejos que los estudiantes deben resolver utilizando el conocimiento adquirido. Este enfoque puede ayudar a los estudiantes a aplicar sus conocimientos en situaciones prácticas y a desarrollar habilidades importantes para su futuro académico y profesional (Plass *et al.*, 2015).

Implementación de la gamificación en el aula

Implementar la gamificación en el aula requiere una planificación cuidadosa y una comprensión profunda tanto de los principios de diseño de juegos como de los objetivos educativos. En esta sección se profundiza en los aspectos esenciales del diseño de actividades gamificadas, las herramientas y recursos disponibles, y la evaluación del impacto de la gamificación.

Diseño de actividades gamificadas

Para implementar la gamificación de manera efectiva, es crucial diseñar actividades que mantengan la rigurosidad científica. Esto implica una colaboración estrecha entre educadores y expertos en diseño de juegos. Según Kapp (2012),

un buen diseño de actividades gamificadas debe incluir objetivos claros, mecánicas de juego bien definidas y un sistema de *feedback* que guíe a los estudiantes a lo largo del proceso de aprendizaje.

Objetivos claros

El primer paso en el diseño de actividades gamificadas es establecer objetivos claros y específicos. Éstos deben estar alineados con el currículo educativo y centrarse en el desarrollo de habilidades y conocimientos específicos. Al definir objetivos claros, los educadores pueden crear actividades que tengan un propósito bien definido y que se puedan medir de manera efectiva. Por ejemplo, un objetivo podría ser que los estudiantes comprendan los principios básicos de la genética, lo que puede ser evaluado a través de actividades gamificadas que incluyan ejercicios prácticos y cuestionarios interactivos.

Mecánicas de juego bien definidas

Las mecánicas de juego son los elementos y principios que se utilizan para crear la experiencia de juego. Éstas incluyen puntos, niveles, insignias, tablas de clasificación, desafíos y recompensas. Es esencial que estas mecánicas se diseñen de manera que fomenten el compromiso y la motivación de los estudiantes. Por ejemplo, los puntos pueden otorgarse por completar tareas correctamente, mientras que los niveles pueden representar el progreso en el aprendizaje de nuevos conceptos. Las insignias pueden usarse para reconocer logros específicos, como la resolución de problemas complejos o la colaboración eficaz en equipo (Werbach & Hunter, 2012).

Sistema de feedback

El *feedback* es un componente crítico en el diseño de actividades gamificadas. Un sistema de *feedback* efectivo debe proporcionar a los estudiantes información inmediata y constructiva sobre su desempeño. Éste puede ser en forma de retroalimentación automática de cuestionarios, comentarios del profesor o interacciones dentro del juego. Un buen sistema de *feedback* no sólo ayuda a los estudiantes a identificar áreas de mejora, sino que también los motiva a seguir participando y esforzándose. Por ejemplo, en un juego educativo los estudiantes podrían recibir *feedback* instantáneo sobre sus respuestas, lo que les permitiría corregir errores y entender mejor los conceptos (Deterding *et al.*, 2011).

Diseño inclusivo

Además, es fundamental que el diseño de las actividades gamificadas sea inclusivo y accesible para todos los estudiantes, considerando sus diversas habilidades, intereses y necesidades. Herramientas como adaptaciones tecnológicas y diferentes niveles de dificultad pueden ayudar a asegurar que todos los estudiantes puedan participar y beneficiarse de las actividades gamificadas. El diseño inclusivo no sólo promueve la equidad en el aprendizaje, sino que también asegura que la gamificación sea una herramienta efectiva para todos (Sánchez *et al.*, 2020).

Evaluación del impacto de la gamificación

Evaluar el impacto de las actividades gamificadas es esencial para asegurar su efectividad. Esto implica no sólo medir el rendimiento académico de los estudiantes, sino también su motivación y satisfacción. Según Domínguez *et al.* (2013), las evaluaciones deben incluir tanto métodos cuantitativos como cualitativos para obtener una visión completa del impacto de la gamificación en el aprendizaje.

Métodos cuantitativos

Los métodos cuantitativos incluyen el uso de pruebas estandarizadas, cuestionarios y análisis de datos para medir el rendimiento académico de los estudiantes y su participación en las actividades gamificadas. Por ejemplo, se pueden utilizar prepruebas y postpruebas para evaluar el conocimiento antes y después de participar en actividades gamificadas. Además, las plataformas gamificadas a menudo recopilan datos sobre el progreso y el desempeño de los estudiantes, lo que permite a los educadores analizar tendencias y evaluar la efectividad de las actividades (Hamari *et al.*, 2014).

Métodos cualitativos

Los métodos cualitativos incluyen entrevistas, grupos focales y observaciones para recopilar información sobre las experiencias y percepciones de los estudiantes respecto a las actividades gamificadas. Estas técnicas permiten a los educadores obtener una comprensión más profunda de cómo los estudiantes interactúan con las actividades gamificadas y cómo éstas afectan su motivación

y compromiso. Por ejemplo, se pueden realizar entrevistas con estudiantes para explorar sus opiniones sobre la efectividad de las mecánicas de juego y el feedback recibido durante las actividades (Domínguez et al., 2013).

Evaluación continua

La evaluación continua es crucial para el éxito a largo plazo de la gamificación en el aula. Esto implica recopilar y analizar datos de manera regular para identificar áreas de mejora y ajustar las actividades gamificadas según sea necesario. Un enfoque de evaluación continua asegura que las actividades gamificadas sigan siendo relevantes y efectivas, y permite a los educadores adaptarse a las necesidades cambiantes de los estudiantes y el entorno educativo (Werbach & Hunter, 2012).

Ejemplos de gamificación en la educación científica

La gamificación en la educación científica ha sido aplicada exitosamente en diversas plataformas y herramientas, cada una ofreciendo enfoques únicos para involucrar a los estudiantes y mejorar su comprensión de conceptos científicos. A continuación se presentan algunos de los ejemplos más destacados.

PhET Interactive Simulations

PhET Interactive Simulations, desarrollado por la Universidad de Colorado Boulder, ofrece simulaciones científicas interactivas en diversas áreas de la ciencia, incluyendo física, química, biología y matemáticas. Estas simulaciones permiten a los estudiantes explorar conceptos científicos a través de un entorno de juego interactivo, lo que facilita la comprensión y la retención de la información.

Características y beneficios

PhET proporciona simulaciones que son intuitivas y fáciles de usar, diseñadas para replicar fenómenos científicos reales. Los estudiantes pueden manipular variables y observar los resultados en tiempo real, lo que les permite experimentar y aprender de manera práctica. Por ejemplo, pueden explorar cómo cambia la velocidad de una reacción química al alterar la concentración de los reactivos o la temperatura.

Impacto educativo

Estudios han demostrado que las simulaciones de PhET pueden mejorar significativamente la comprensión de conceptos científicos complejos. Moore *et al.* (2013) encontraron que los estudiantes que utilizaron estas simulaciones tuvieron un mejor rendimiento en evaluaciones de física en comparación con aquellos que recibieron instrucción tradicional. Las simulaciones no sólo ayudan a visualizar conceptos abstractos, sino que también fomentan el aprendizaje activo y el pensamiento crítico.

Foldit

Foldit es un juego en línea que permite a los jugadores participar en la resolución de problemas científicos reales relacionados con la biología molecular, específicamente en el plegamiento de proteínas. Los jugadores manipulan estructuras de proteínas para descubrir configuraciones más estables, contribuyendo así a la investigación científica.

Características y beneficios

Foldit utiliza una interfaz de usuario intuitiva que permite a los jugadores ajustar la estructura de las proteínas mediante la interacción directa con sus modelos tridimensionales. Este enfoque gamificado no sólo educa a los jugadores sobre la biología molecular y el plegamiento de proteínas, sino que también convierte la resolución de problemas científicos complejos en una actividad lúdica y accesible.

Impacto científico

Foldit ha sido exitoso en involucrar a una comunidad global en la ciencia y ha resultado en descubrimientos científicos significativos. Cooper *et al.* (2010) destacaron que los jugadores de Foldit han ayudado a identificar estructuras de proteínas que los científicos no pudieron resolver, demostrando que la colaboración entre la comunidad científica y los ciudadanos científicos puede acelerar el progreso en la investigación biomédica.

Classcraft

Classcraft es una plataforma que transforma el aula en un entorno de juego de rol, donde los estudiantes asumen roles de personajes con habilidades específicas y trabajan en equipo para completar tareas y desafíos educativos. Esta herramienta ha demostrado ser efectiva en aumentar la motivación y el compromiso de los estudiantes.

Características y beneficios

En Classcraft, los estudiantes ganan puntos de experiencia (xp) y pueden desbloquear recompensas a medida que completan tareas académicas y participan en actividades de clase. Los profesores pueden personalizar las misiones y los desafíos para alinearlos con el currículo, y los estudiantes pueden colaborar en equipos para superar obstáculos y ganar premios.

Impacto educativo

Classcraft no sólo motiva a los estudiantes, sino que también fomenta la colaboración y el trabajo en equipo, elementos cruciales en el aprendizaje efectivo. Abramovich, Schunn y Higashi (2013) encontraron que el uso de Classcraft en el aula mejora el rendimiento académico de los estudiantes y aumenta su participación en las actividades educativas. Además, el ambiente de juego de rol hace que el aprendizaje sea más atractivo y relevante para los estudiantes.

Kahoot!

Kahoot! es una plataforma de aprendizaje basada en juegos que permite a los educadores crear cuestionarios interactivos y concursos en tiempo real. Los estudiantes participan utilizando sus dispositivos móviles o computadoras, compitiendo entre ellos para obtener la puntuación más alta.

Características y beneficios

Kahoot! permite a los profesores crear y compartir cuestionarios personalizados que cubren una amplia gama de temas científicos. Los estudiantes responden a preguntas en tiempo real y reciben *feedback* inmediato sobre su desempeño. La naturaleza competitiva del juego motiva a los estudiantes a participar y esforzarse por mejorar sus respuestas.

Impacto educativo

Kahoot! ha demostrado ser una herramienta efectiva para aumentar la participación y la motivación de los estudiantes. Plump y LaRosa (2017) señalaron que el uso de Kahoot! en el aula mejora la retención de la información y el compromiso de los estudiantes. La plataforma también fomenta un ambiente de aprendizaje colaborativo, donde los estudiantes pueden discutir y aprender unos de otros.

Duolingo

Duolingo es una plataforma popular para el aprendizaje de idiomas que utiliza elementos de gamificación para motivar a los estudiantes. Aunque se centra en la enseñanza de lenguas, los principios y beneficios de su diseño gamificado pueden aplicarse a la educación científica.

Características y beneficios

Duolingo ofrece lecciones estructuradas en forma de niveles que los estudiantes deben completar para avanzar. Cada lección incluye una variedad de ejercicios interactivos que cubren la lectura, escritura, escucha y habla. Los usuarios ganan puntos de experiencia y pueden ver su progreso en tablas de clasificación, lo que fomenta la motivación y el deseo de seguir aprendiendo.

Impacto educativo

La eficacia de Duolingo en el aprendizaje de idiomas ha sido bien documentada. Un estudio de Vesselinov y Grego (2012) encontró que el uso de Duolingo durante 34 horas era equivalente a un semestre universitario de instrucción en un idioma. Aunque este estudio se centra en la enseñanza de idiomas, los principios subyacentes de gamificación y aprendizaje activo pueden ser aplicados a la educación científica para crear un entorno de aprendizaje más atractivo y eficaz.

Minecraft: Education Edition

Minecraft: Education Edition es una versión del popular juego Minecraft, adaptada para el aula. Esta plataforma permite a los estudiantes explorar y crear mundos virtuales que pueden ser utilizados para enseñar una amplia gama de temas científicos, desde geografía hasta química y física.

Características y beneficios

Minecraft: Education Edition proporciona un entorno abierto y flexible donde los estudiantes pueden construir y manipular estructuras, realizar experimentos y resolver problemas en un mundo virtual. Los educadores pueden crear lecciones personalizadas y guiar a los estudiantes a través de actividades interactivas que fomentan el aprendizaje práctico y la creatividad.

Impacto educativo

Minecraft ha demostrado ser una herramienta eficaz para involucrar a los estudiantes en el aprendizaje activo. En un estudio de Short (2012) se encontró que el uso de Minecraft en el aula mejora las habilidades de resolución de problemas y fomenta la creatividad y la colaboración entre los estudiantes. La naturaleza abierta del juego permite a los estudiantes explorar conceptos científicos de manera práctica y significativa.

Habitica

Habitica es una aplicación de gestión de tareas que utiliza elementos de gamificación para ayudar a los usuarios a organizar sus vidas y mejorar su productividad. Aunque no está diseñada específicamente para la educación científica, puede ser adaptada para este propósito.

Características y beneficios

Habitica convierte las tareas diarias y las metas en misiones que los usuarios deben completar para ganar puntos de experiencia y recompensas. Los estudiantes pueden utilizar Habitica para gestionar sus tareas académicas, establecer metas de estudio y recibir recompensas por su progreso. Los educadores pueden integrar Habitica en el aula para fomentar la responsabilidad y la autodisciplina en los estudiantes.

Impacto educativo

La aplicación de Habitica en un entorno educativo puede mejorar la organización y la gestión del tiempo de los estudiantes. En un estudio de Stieger y Reips (2014) se encontró que la gamificación de tareas diarias puede aumentar

la motivación y la productividad, lo que sugiere que Habitica puede ser una herramienta útil para mejorar el rendimiento académico de los estudiantes.

Seppo

Seppo es una plataforma de aprendizaje basada en juegos que permite a los educadores crear lecciones interactivas y misiones que los estudiantes pueden completar en el mundo real utilizando sus dispositivos móviles. Se utiliza comúnmente para enseñar ciencias a través de actividades de campo y proyectos interactivos.

Características y beneficios

Seppo permite a los educadores diseñar juegos educativos que los estudiantes pueden jugar al aire libre, explorando su entorno mientras aprenden sobre temas científicos. Los estudiantes pueden completar misiones, responder preguntas y ganar puntos, lo que hace que el aprendizaje sea más dinámico y divertido.

Impacto educativo

Seppo ha sido utilizado con éxito para enseñar ciencias ambientales y biología, entre otras disciplinas. Un estudio de Lindqvist y Nordänger (2016) encontró que Seppo aumenta la motivación y la participación de los estudiantes, y facilita el aprendizaje activo a través de experiencias prácticas en el mundo real.

Conclusión

La gamificación está transformando la manera como se enseña, se investiga y se comunica la ciencia, haciendo que sea más accesible y atractiva para las nuevas generaciones. Al integrar mecánicas de juego en actividades educativas, los educadores pueden crear experiencias de aprendizaje más dinámicas y efectivas. Sin embargo, es crucial diseñar estas actividades de manera que mantengan la rigurosidad científica y sean inclusivas y accesibles para todos los estudiantes. Con una evaluación continua y un enfoque en la mejora, la gamificación tiene el potencial de revolucionar la educación científica y acelerar el progreso en todas las áreas del conocimiento.

Lecturas recomendadas

- Abramovich, S., Schunn, C., & Higashi, R. M. (2013). Are badges useful in education?: It depends upon the type of badge and expertise of learner. *Educational Technology Research and Development*, 61(2), 217-232. <http://doi.org/10.1007/s11423-013-9289-2>
- Annetta, L. A., Minogue, J., Holmes, S. Y., & Cheng, M. T. (2009). Investigating the impact of video games on high school students' engagement and learning about genetics. *Computers & Education*, 53(1), 74-85. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2008.12.020>
- Cooper, S., Khatib, F., Treuille, A., Barbero, J., Lee, J., Beenen, M., ... & Popović, Z. (2010). Predicting protein structures with a multiplayer online game. *Nature*, 466(7307), 756-760. <http://doi.org/10.1038/nature09304>
- Deterding, S., Dixon, D., Khaled, R., & Nacke, L. (2011). From game design elements to gamefulness: Defining "gamification". *Proceedings of the 15th International Academic MindTrek Conference: Envisioning Future Media Environments* (pp. 9-15). <http://doi.org/10.1145/2181037.2181040>
- Domínguez, A., Sáenz-de-Navarrete, J., de-Marcos, L., Fernández-Sanz, L., Pagés, C., & Martínez-Herráiz, J. J. (2013). Gamifying learning experiences: Practical implications and outcomes. *Computers & Education*, 63, 380-392. <http://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.12.020>
- Hamari, J., Koivisto, J., & Sarsa, H. (2014). Does gamification work? A literature review of empirical studies on gamification. *2014 47th Hawaii International Conference on System Sciences* (pp. 3025-3034). Ieee. <http://doi.org/10.1109/hicss.2014.377>
- Kapp, K. M. (2012). *The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education*. John Wiley & Sons. <http://doi.org/10.1002/9781118254901>
- Moore, E. B., Herzog, T. A., & Perkins, K. K. (2013). Interactive simulations as implicit support for guided-inquiry. *Chemistry Education Research and Practice*, 14(3), 257-268. <http://doi.org/10.1039/c3rp20157k>
- Nicholson, S. (2015). A Recipe for meaningful gamification. *Gamification in education and business* (pp. 1-20). Springer. http://doi.org/10.1007/978-3-319-10208-5_1
- Plump, C. M., & LaRosa, J. (2017). Using Kahoot! in the classroom to create engagement and active learning: A game-based technology solution for

- eLearning novices. *Management Teaching Review*, 2(2), 151-158. <http://doi.org/10.1177/2379298116689783>
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2000). Self-determination theory and the facilitation of intrinsic motivation, social development, and well-being. *American Psychologist*, 55(1), 68. <http://doi.org/10.1037/0003-066X.55.1.68>
- Sailer, M., Hense, J., Mayr, S. K., & Mandl, H. (2017). How gamification motivates: An experimental study of the effects of specific game design elements on psychological need satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 69, 371-380. <http://doi.org/10.1016/j.chb.2016.12.033>
- Sánchez, E., Langer, M., & Kaur, R. (2020). Examining the potential of gamification in inclusive education: A systematic review. *Educational Technology & Society*, 23(4), 108-120. <http://doi.org/10.1007/s10212-020-00474-6>
- Vesselinov, R., & Grego, J. (2012). *Duolingo effectiveness study*. http://static.duolingo.com/s3/DuolingoReport_Final.pdf
- Werbach, K., & Hunter, D. (2012). *For the win: How game thinking can revolutionize your business*. Wharton Digital Press. <http://doi.org/10.1145/2207270.2211316>

Cuando los vasos sanguíneos envejecen

LUIS RICARDO BALLEZA ALEJANDRI*

DANIEL OSMAR SUÁREZ RICO**

Un hombre es tan viejo como sus arterias.

Thomas Sydenham

Con el paso de los años nuestro sistema envejece, y sucede en todas las personas, el envejecimiento es un proceso natural que afecta a todas las partes de nuestro cuerpo, incluido nuestro sistema vascular, es decir, nuestras venas y arterias. A medida que envejecemos, nuestro sistema vascular experimenta una serie de cambios que pueden afectar nuestra salud y bienestar. (1) Y entonces, ¿cómo cambian nuestras venas y arterias con el tiempo, qué impacto puede tener ello en nuestra salud y qué medidas podemos tomar para mantener un sistema vascular saludable a lo largo de los años? Antes de sumergirnos de lleno en los detalles del envejecimiento vascular, es importante comprender qué es el sistema vascular y cuál es su función en nuestro cuerpo.

* Doctorado de Farmacología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, México

** Departamento de Fisiología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, México²

¿Qué es el sistema vascular?

El sistema vascular está compuesto por un entramado de venas y arterias, son como una red compleja de carreteras por las que circula la sangre, transportando nutrientes, oxígeno y desechos a todas y de todas las partes del organismo. Imaginémoslas como tubos flexibles, las arterias son los vasos sanguíneos que llevan la sangre oxigenada desde el corazón hacia los tejidos y órganos, mientras que las venas son los vasos sanguíneos que devuelven la sangre sin oxígeno al corazón para que sea oxigenada nuevamente en los pulmones, además de transportar los desechos que se producen en el cuerpo. (1,2)

Pero ¿cómo se ven realmente por dentro?

Las arterias, las carreteras rápidas:

Las características de las arterias son como las de un tubo fuerte y flexible, tienen una pared gruesa y elástica que tiene tres capas características:

- *La íntima*: la capa más interna, suave y lisa, que permite que la sangre fluya fácilmente y sin atascarse. Esta capa se encuentra cubierta por el endotelio, unas células importantes con forma de mosaicos que producen sustancias que les ayudan a los vasos sanguíneos a relajarse o contraerse. (3,4)
- *La media*: capa musculosa y elástica, y es gracias a sus músculos que ayuda a mantener la forma de la arteria y a controlar su grosor, dependiendo de las necesidades del cuerpo, haciéndolas más anchas al relajarse si los órganos requieren más sangre, o más angostas al contraerse los músculos si los órganos requieren más sangre. (3,4)
- *La adventicia*: la capa más externa, que proporciona soporte y protección a la arteria. (3,4)

Las venas, las carreteras lentas:

Son muy similares y al mismo tiempo diferentes a las arterias, en ellas sus paredes son más delgadas y menos elásticas. También tienen tres capas:

- *La íntima*: al igual que en las arterias, es la capa interior y suave. También en ellas permite que la sangre fluya fácilmente y sin atascarse. (3,4)
- *La media*: a pesar de que es menos musculosa que la de las arterias, sus músculos también ayudan a mantener la forma y evitar que se acumule una gran cantidad de sangre en ellas. (3,4)
- *La adventicia*: proporciona soporte y protección, pero es menos resistente que las arterias. (3,4)

Las venas tienen además una característica que no poseen las arterias: unas válvulas especiales que ayudan a evitar que la sangre retroceda cuando fluye hacia el corazón.

Cambios en las arterias con el envejecimiento

Con el paso del tiempo nuestras arterias pueden experimentar una serie de cambios que afectan su estructura y función, experimentando cambios que afectan la circulación de la sangre. Uno de los cambios más significativos es el endurecimiento de las arterias, conocido médicamente como arteriosclerosis. Este proceso ocurre cuando las paredes de las arterias se vuelven más rígidas y gruesas debido a la acumulación de depósitos de grasa, colesterol y otras sustancias, formando lo que se conoce como placas, esta acumulación de grasa y sustancias reduce el flujo de la sangre hacia los órganos, dañándolos a largo plazo. (1,4)

El endurecimiento de las arterias puede reducir su elasticidad, lo que dificulta la circulación sanguínea y aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares como la hipertensión arterial, la enfermedad coronaria y los accidentes cerebrovasculares. Además, las arterias pueden volverse menos eficientes para dilatarse y contraerse en respuesta a las demandas del cuerpo, lo que puede afectar la regulación del flujo sanguíneo y la presión arterial. (1,4)

Con el envejecimiento también se puede dañar la capa interna, perdiendo sus características de suavidad y lisura, y perdiendo con ello su capacidad para dilatarse y permitir un mayor flujo, además de hacer que se formen remolinos en los vasos sanguíneos, que pueden ayudar a la formación de coágulos en su interior. (1,4)

Cambios en las venas con el envejecimiento

Al igual que las arterias, nuestras venas también experimentan cambios con el envejecimiento. Una de las principales preocupaciones relacionadas con el envejecimiento venoso es la aparición de venas varicosas. Dichas venas varicosas son venas agrandadas y torcidas que pueden ser visibles bajo la piel y causar síntomas como dolor, hinchazón, picazón y sensación de pesadez en las piernas. (3-5)

El desarrollo de venas varicosas se debe en parte a la debilitación de las paredes venosas y al mal funcionamiento de las válvulas especiales que poseen las venas, que normalmente ayudan a que la sangre fluya en dirección hacia el corazón; sin embargo, con el tiempo estas válvulas pueden volverse menos eficientes, lo que permite que la sangre se acumule en las venas y cause su dilatación y distorsión. (4,5)

Además de las venas varicosas, el envejecimiento también puede aumentar el riesgo de desarrollar coágulos sanguíneos en las venas, conocidos como trombosis venosa profunda (TVP). Los coágulos sanguíneos pueden ser peligrosos, ya que pueden desprenderse y viajar a través del torrente sanguíneo hasta los pulmones, causando una afección potencialmente mortal conocida como embolia pulmonar. (4,5)

El impacto en la salud

Los cambios en el sistema vascular asociados con el envejecimiento pueden tener un impacto significativo en la salud y el bienestar de una persona. El endurecimiento de las arterias y el desarrollo de venas varicosas pueden aumentar el riesgo de enfermedades (5,6), tales como:

Hipertensión (presión arterial alta)

Conforme vamos envejeciendo, nuestro cuerpo va sufriendo una serie de cambios que se podrían considerar como normales, lentamente las capas media e interna de los vasos sanguíneos se van endureciendo, y es conforme a estos cambios que el corazón va necesitando más fuerza para poder llevar la sangre a todo el cuerpo. Imaginémoslo como una tubería a la que se le va depositando sedimento, esto hace que sea más difícil que el agua pase por ellas. Además del daño de la capa interna de las arterias, los vasos sanguíneos se van volviendo más rígidos y pierden su capacidad de distensión, dejando de tener la capacidad de adaptación. Este aumento de presión, que normalmente se encontraría por debajo de 120/80 milímetros de mercurio, se convierte en un factor de riesgo importante para el desarrollo y aparición de muchas enfermedades cardiovasculares. (6,7)

Ateroesclerosis

Nuestro corazón, como todas las partes de nuestro cuerpo, requiere que la sangre le esté llegando de manera constante y sin interrupciones para poder hacer las actividades normales; la ya mencionada aterosclerosis en las arterias va haciendo que su tamaño se vaya haciendo más pequeño, y conforme envejecemos, este acumulo de grasa y sustancias va haciendo que el suministro de sangre vaya siendo cada vez menos, y esto puede llevar a múltiples daños; por ejemplo, si se tapan los vasos sanguíneos del corazón se producen infartos o ataques al corazón, además de que se puede presentar dolor en el pecho al realizar actividades o ejercicio (conocido como angina). (6,7)

Insuficiencia cardiaca

Como ya vimos, la hipertensión y la rigidez arterial pueden forzar al corazón a trabajar más, lo que con el tiempo este trabajo excesivo lleva a un debilitamiento del músculo cardiaco, y si no se actúa a tiempo, se llega a la insuficiencia cardiaca, una condición en la que el corazón no puede bombear sangre de manera eficiente para satisfacer las necesidades del cuerpo. Esto puede deberse a que el corazón se ha debilitado o se ha vuelto demasiado rígido. Los síntomas comunes incluyen dificultad para respirar, hinchazón en las piernas, tobillos o abdomen, y fatiga extrema. También puede haber aumento de peso rápido debido a la retención de líquidos (6,8)

Accidente cerebrovascular

Además de los cambios que se van produciendo en el cerebro con el paso del tiempo, la acumulación de grasa y tejido, junto con el endurecimiento de las arterias que llevan la sangre al cerebro pueden terminar con el desarrollo de embolias (accidentes cerebrovasculares). Estos accidentes cerebrovasculares pueden ser causados por obstrucciones o por hemorragias, cuando son causados por la ruptura de un vaso sanguíneo, dañando nuestro cerebro, sin posibilidad de recuperación. (6-8)

La reducción de la cantidad de sangre que lleva al cerebro ya sea debido a la rigidez arterial, a la aterosclerosis o a una embolia, puede contribuir a que se desarrolle una pérdida de las funciones del cerebro, llevando a un deterioro

cognitivo y a la aparición de diversas enfermedades neurodegenerativas, la demencia, por ejemplo.

Enfermedad arterial periférica

Recordemos que las venas tienen unas válvulas especiales que ayudan a que la sangre no regrese y siga su camino al corazón, el daño en ellas puede llevar a la aparición de várices y de otras complicaciones: si se reduce por ejemplo la cantidad de sangre que llega a las extremidades, ya sea debido al envejecimiento o a la aterosclerosis que puede producirse por el depósito de grasa y otras sustancias, llega a causar dolor al caminar que se conoce como claudicación intermitente o al realizar las actividades del día a día, evitando que se puedan realizar con la facilidad y seguridad habituales, y, en casos más severos, al llegar a disminuir en una cantidad excesiva, nuestro cuerpo puede llegar a sufrir de infecciones, porque no tendría forma de defenderse, o en el caso de que el tejido comience a morir, amputaciones. (8)

Es importante tener en cuenta que el envejecimiento vascular no afecta a todas las personas de la misma manera. Diversos factores como la herencia genética, el estilo de vida y las enfermedades crónicas pueden influir en la velocidad y la gravedad de los cambios vasculares asociados con la edad. Sin embargo, existen medidas que podemos tomar para mantener un sistema vascular saludable a lo largo de los años.

Es mejor prevenir que lamentar

Ahora bien, ya que no es posible el detener el paso de los años, sí podemos identificar a tiempo los cambios que se van produciendo y evitar que avancen rápidamente, llevando a la aparición y desarrollo de padecimientos que de otra forma podrían poner en peligro nuestra vida. Recordemos: “Es mejor prevenir que lamentar”.

Los médicos pueden utilizar varias herramientas y técnicas para diagnosticar este envejecimiento o su presentación, entre los que se incluyen:

Historia clínica y examen físico

Durante la elaboración de una historia clínica, el médico puede hacer una variedad de preguntas. Éstas pueden incluir detalles personales, sobre síntomas actuales, su duración y frecuencia, historial de enfermedades familiares,

hábitos de vida como alimentación y ejercicio, consumo de medicamentos y otras sustancias como tabaco y alcohol, además de cualquier alergia conocida. Estas preguntas son bastante importantes y siempre deben responderse con la mayor veracidad posible, porque ayudan a identificar posibles causas de los síntomas, evaluar riesgos de enfermedades hereditarias, los antecedentes médicos de importancia y los factores de riesgo, como hipertensión, diabetes, aterosclerosis y diversos hábitos de vida, que podrían llevar a que los vasos sanguíneos envejezcan más rápidamente. (9)

En la exploración física se realiza una evaluación directa del cuerpo del paciente, realizada por el médico. Incluye la observación, palpación (tocar), auscultación (escuchar sonidos internos con un estetoscopio) y percusión (golpear suavemente ciertas áreas del cuerpo). Esta exploración ayuda a detectar signos físicos de envejecimiento y daño en diversas zonas del cuerpo, para descubrir daño en los vasos, evaluar el estado general de salud y complementar la información obtenida durante la entrevista clínica. Juntas, la historia clínica y la exploración física son fundamentales para un diagnóstico preciso, lo que permitiría establecer el tratamiento más adecuado y mejor adaptado para cada persona.

Medición de la presión arterial

Debemos recordar que el envejecimiento de los vasos sanguíneos lleva a un aumento de la presión arterial, que normalmente se encuentra por debajo de 120/80 milímetros de mercurio, por lo que un monitoreo regular de la presión arterial es esencial para detectar cambios en ella y actuar a tiempo, permitiéndonos manejar a tiempo problemas como la hipertensión, que puede llevar a enfermedades del corazón y derrames cerebrales. (9)

Índice tobillo-brazo

Una de las utilidades de la medición de la presión arterial, además de detectar a tiempo el problema de la elevación de la presión arterial, es la comparación de la presión arterial en el tobillo y el brazo, pues cuando existe una disminución o un aumento de la presión en alguna de las extremidades, nos ayuda para detectar enfermedad arterial periférica y sus posibles consecuencias. (9)

Pruebas de sangre

Con los análisis que se realizan a partir de una muestra de sangre es posible ver cómo es el funcionamiento los órganos y detectar problemas como diabetes o colesterol alto. Es como un chequeo interno que nos dice si todo está bien o si hay algo que necesitamos tratar. Estas evaluaciones (como de los niveles de colesterol, glucosa y otros marcadores) pueden indicar riesgo elevado para el desarrollo de enfermedades. (9,10)

Electrocardiograma (ECG)

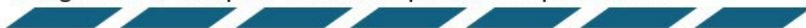
El electrocardiograma (ECG) es una prueba médica que registra la actividad eléctrica del corazón. Cada vez que nuestro corazón late, genera señales eléctricas que hacen que los músculos del corazón trabajen y se contraigan, lo que permite que se pueda bombear sangre hacia el cuerpo. El ECG captura estas señales y las presenta en un gráfico, permitiendo a los médicos ver cómo funciona el corazón. Durante un ECG se colocan pequeños parches llamados electrodos sobre localizaciones específicas sobre la piel, en el pecho, brazos y piernas. Estos electrodos están conectados a una máquina que registrará las señales eléctricas del corazón. La prueba es rápida, indolora y generalmente dura unos minutos, tiene además la ventaja de que no es invasiva, lo que significa que no requiere agujas ni incisiones. (9)

El ECG ayuda nos ayuda a los médicos a:

Detectar ritmos cardíacos anormales (arritmias).



Diagnosticar ataques cardíacos pasados o presentes.



Identificar bloqueos en las arterias que llevan la sangre al corazón.



Evaluar problemas estructurales del corazón, como agrandamiento de las cámaras del corazón.



Monitorizar la efectividad de ciertos tratamientos para el corazón



Ultrasonido y ultrasonido Doppler

Nos permite realizar una mejor evaluación del flujo de sangre en los vasos sanguíneos, cuando se utiliza el Doppler, es posible crear imágenes y gráficos que muestran la velocidad y dirección del flujo de la sangre. En conjunto, con ambos tipos de ultrasonido podemos evaluar los vasos sanguíneos para detectar bloqueos por coágulos o estrechamientos por arterosclerosis, además de poder observar la estructura del corazón para asegurar y monitorear su funcionamiento. (8-10)

¿Y qué hacer para evitarlo?

Aunque no podemos detener por completo el proceso de envejecimiento vascular, existen varias estrategias que podemos seguir para mantener la salud de nuestras venas y arterias. El manejo del envejecimiento vascular requiere un enfoque integral que combine prevención, tratamiento y monitoreo continuo. Se deben tener consultas regulares con el médico, nutriólogo y fisioterapeuta para evaluar la salud cardiovascular y ajustar los tratamientos según sea necesario. Además, la educación del paciente sobre los signos y síntomas de las enfermedades cardiovasculares es crucial para un diagnóstico y tratamiento temprano.

1. Prevención del envejecimiento vascular llevando una vida saludable

Evitar el tabaco. El tabaquismo es uno de los mayores factores de riesgo para el envejecimiento vascular. Fumar produce daño a las paredes de los vasos sanguíneos y aumenta el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares. Dejar de fumar o evitar el tabaco en todas sus formas es crucial para mantener un sistema vascular saludable. (10)

Llevar una dieta saludable y equilibrada. Consumir una dieta rica en frutas, verduras, granos enteros, y proteínas magras ayuda a mantener la salud vascular. Los alimentos ricos en antioxidantes, como los frutos rojos y las verduras de hoja verde, pueden combatir el daño oxidativo en las arterias. Las grasas saludables, como las que se encuentran en el aceite de oliva, los frutos secos y el pescado, pueden reducir la inflamación y mejorar la función endotelial. (11,12)

Mantener un peso saludable. Mantener un peso corporal dentro de un rango saludable puede ayudar a reducir la presión sobre el sistema vascular y disminuir el riesgo de desarrollar enfermedades relacionadas con el corazón y los vasos sanguíneos. (11,12)

Practicar ejercicio regularmente. El ejercicio regular, principalmente el ejercicio aeróbico, como caminar, nadar o andar en bicicleta fortalece el corazón. También ayuda a mantener un peso saludable, reducir la presión arterial, a controlar los niveles de colesterol y mejorar la circulación sanguínea, lo que puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y mantener las venas y arterias saludables. (11,12)

2. Controlando los factores de riesgo

Controlar la presión arterial. La hipertensión puede dañar las arterias y acelerar el envejecimiento vascular, por esto es importante monitorear y controlar la presión arterial a través de cambios en el estilo de vida y, si es necesario, medicación. (11,12)

Control del colesterol. Los niveles altos de colesterol “malo” LDL pueden llevar a la formación de placas en las arterias. De tal forma que mantener los niveles de colesterol bajo a través de un control mediante la dieta, el ejercicio y, en algunos casos, medicación, es esencial para evitar el daño en los vasos sanguíneos y la formación de placas y coágulos. (11,12)

Control de diabetes. Los niveles elevados de glucosa en los pacientes con diabetes llevan a la aparición de daño en los vasos sanguíneos con el paso del tiempo, acelerando el proceso de envejecimiento. El control de los niveles de glucosa en sangre puede prevenir daños en los vasos; así, todos los pacientes con diabetes deben seguir una dieta adecuada, hacer ejercicio regularmente y tomar medicamentos según las indicaciones médicas. (11,12)

Mantenerse activo. Evitar estar mucho tiempo sentado o de pie puede ayudar a prevenir problemas venosos como las venas varicosas y la trombosis venosa profunda. Es importante moverse regularmente y cambiar de posición con frecuencia para mejorar la circulación sanguínea en las piernas. (11,12)

Ya lo tengo el problema. Ahora, ¿qué hago?

3. Tratamientos nutricionales

Una dieta adecuada no sólo es preventiva, sino que también puede ser una parte crucial del tratamiento para las personas que ya presentan signos de envejecimiento vascular. Los profesionales de la salud pueden recomendar una dieta rica en antioxidantes para reducir el daño oxidativo en las arterias. Además, los

ácidos grasos omega-3, presentes en pescados grasos como el salmón, pueden ser recetados para disminuir la inflamación y mejorar la salud cardiovascular. También se puede aconsejar reducir el consumo de grasas saturadas y trans, que se encuentran en alimentos procesados y fritos, para ayudar a mantener las arterias despejadas de placas de colesterol. (12)

4. Ejercicio físico guiado

El ejercicio regular, supervisado por un profesional de la salud, es una de las estrategias más efectivas para mantener y mejorar la salud vascular. Los planes de ejercicio personalizados pueden incluir actividades aeróbicas como caminar, correr, nadar o andar en bicicleta, que mejoran la circulación sanguínea y fortalecen el corazón. Estos ejercicios también pueden ayudar a reducir la presión arterial y los niveles de colesterol, factores de riesgo significativos para las enfermedades cardiovasculares. La fisioterapia puede ser especialmente útil para aquellos con movilidad reducida debido a la claudicación intermitente o el dolor crónico. (12)

5. Intervenciones farmacológicas

Para aquellos que presentan signos avanzados de envejecimiento vascular, los medicamentos pueden ser una parte esencial del tratamiento. Los antihipertensivos, por ejemplo, pueden ayudar a reducir la presión arterial, mientras que las estatinas pueden disminuir los niveles de colesterol. Además, los anticoagulantes pueden prevenir la formación de coágulos sanguíneos, reduciendo el riesgo de eventos cardiovasculares graves como el infarto de miocardio o el accidente cerebrovascular. Siempre se debe dar seguimiento médico y jamás debe automedicarse. (11)

6. Procedimientos quirúrgicos

En casos donde los tratamientos menos invasivos no son suficientes, pueden ser necesarios procedimientos quirúrgicos para restaurar el flujo sanguíneo adecuado. La angioplastia, que implica el uso de un balón para abrir arterias obstruidas, y la colocación de stents, pequeños dispositivos de malla que mantienen las arterias abiertas, son procedimientos comunes. En situaciones más

graves, la cirugía de *bypass* puede ser necesaria para redirigir el flujo sanguíneo alrededor de una arteria obstruida. Estos procedimientos pueden aliviar significativamente los síntomas y mejorar la calidad de vida de los pacientes. (11)

7. El impacto psicológico del tratamiento vascular.

Manejo del estrés y la ansiedad

El diagnóstico y tratamiento de enfermedades vasculares pueden generar una considerable cantidad de estrés y ansiedad en los pacientes. El apoyo emocional y la terapia psicológica son componentes importantes del tratamiento integral. En algunos casos, los medicamentos para la ansiedad o la depresión pueden ser necesarios para ayudar a los pacientes a manejar el impacto psicológico de vivir con una enfermedad vascular. (10,12)

8. Mejoramiento de la calidad de vida

El tratamiento del envejecimiento vascular no sólo se enfoca en la salud física sino también en la mejora de la calidad de vida general. La intervención temprana y el manejo adecuado de los síntomas pueden permitir a los pacientes mantener su independencia y continuar participando en actividades diarias y sociales. Esto es esencial para prevenir el aislamiento social y mejorar la salud mental. (10-12)

Conclusión

El envejecimiento vascular es un proceso inevitable, pero sus efectos pueden ser significativamente disminuidos y hasta cierto punto controlados con medidas preventivas y tratamientos adecuados. El adoptar un estilo de vida saludable con adecuada dieta y ejercicio, así como controlar factores de riesgo, y seguir las recomendaciones médicas puede mejorar la calidad de vida y reducir el riesgo de enfermedades graves. Con los avances en la medicina y la tecnología, las opciones de tratamiento continúan expandiéndose, ofreciendo esperanza para una mejor salud cardiovascular en la vejez.

Lecturas recomendadas

- Libby, P., Ridker, P. M., & Hansson, G. K. (2011). Progress and challenges in translating the biology of atherosclerosis. *Nature*, 473(7347), 317-325.
- North, B. J., & Sinclair, D. A. (2012). The intersection between aging and cardiovascular disease. *Circulation Research*, 110(8), 1097-1108.
- Lakatta, E. G., & Levy, D. (2003). Arterial and cardiac aging: Major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part I: Aging arteries: A “set up” for vascular disease. *Circulation*, 107(1), 139-146.
- Ungvari, Z., Tarantini, S., Donato, A. J., Galvan, V., & Csiszar, A. (2018). Mechanisms of vascular aging. *Circulation Research*, 123(7), 849-867.
- Lakatta, E. G., & Levy, D. (2003). Arterial and cardiac aging: Major shareholders in cardiovascular disease enterprises: Part II: The aging heart in health: Links to heart disease. *Circulation*, 107(2), 346-354.
- O’Rourke, M. F., & Hashimoto, J. (2007). Mechanical factors in arterial aging: A clinical perspective. *Journal of the American College of Cardiology*, 50(1), 1-13.
- Beckman, J. A., Creager, M. A., & Libby, P. (2002). Diabetes and atherosclerosis: Epidemiology, pathophysiology, and management. *JAMA*, 287(19), 2570-2581.
- Stefanadis, C., Toutouzas, K., & Tsiamis, E. (2000). Vascular aging: Major effect of the type of vessel. *Journal of the American College of Cardiology*, 36(10), 345-347.
- Nilsson, P. M., Khalili, P., & Franklin, S. S. (2013). Blood pressure and pulse wave velocity as metrics for evaluating pathologic ageing of the cardiovascular system. *Blood Pressure*, 22(1), 17-23.
- Seals, D. R., & Kaplon, R. E. (2010). Vascular aging in humans: Insights from mechanistic studies. *Journal of Applied Physiology*, 109(4), 1332-1342.
- Gómez-Gómez, M. E., & Zapico, S. C. (2019). Frailty, Cognitive Decline, Neurodegenerative Diseases and Nutrition Interventions. *Int J Mol Sci.* 20(11), 2842, junio 11. doi: 10.3390/ijms20112842. PMID: 31212645; PMCID: PMC6600148.
- El Assar, M., Álvarez-Bustos, A., Sosa, P., Angulo, J., & Rodríguez-Mañas, L. (2022). Effect of Physical Activity/Exercise on Oxidative Stress and Inflammation in Muscle and Vascular Aging. *Int J Mol Sci.*, 23(15), 8713, agosto 5. doi: 10.3390/ijms23158713. PMID: 35955849; PMCID: PMC9369066.

Mitos y realidades actuales de la diabetes

ALBERTO BELTRÁN RAMÍREZ*
JESÚS JONATHAN GARCÍA GALINDO*

Resumen

La diabetes es una condición en la que el cuerpo no puede procesar adecuadamente la glucosa que ingerimos. ¿Por qué necesitamos glucosa? La respuesta simple es que actúa como combustible, igual que la gasolina para un automóvil. Todas las funciones del cuerpo requieren energía, y ésta proviene de la glucosa.

¿Cómo utiliza nuestro cuerpo la glucosa? Aquí entra en juego una hormona secretada por el páncreas: la insulina. La insulina permite que la glucosa entre en nuestras células para ser utilizada como energía. Sin insulina o si ésta no funciona correctamente, la glucosa no puede ser usada como fuente de energía.

¿Por qué la insulina deja de funcionar? Existen varios factores de riesgo. Algunos son heredados de nuestros padres (componente genético), y otros son adquiridos por nosotros mismos en relación con el ambiente (factores ambientales). Estos factores ambientales pueden ser modificables, como nuestra alimentación, actividad física, peso en relación con nuestra altura, y la cantidad y composición de grasa en nuestro cuerpo.

* Departamento de Fisiología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

En este capítulo abordaremos y desmentiremos mitos comunes sobre la diabetes mediante preguntas como: ¿puedo hacerme diabético por un susto intenso? ¿Puedo perder la vista al inyectarme insulina? Me dieron medicamento inyectado para la diabetes, ¿son todos insulinas? ¿Por qué me falló el riñón, siendo paciente con diabetes? ¿Por qué me falló la vista, siendo paciente con diabetes?

Estas preguntas serán respondidas de manera clara y accesible. La finalidad es ofrecer una comprensión precisa de la diabetes, su tratamiento y sus complicaciones, eliminando los mitos y brindando información veraz y útil para todos.

¿Qué es la diabetes?

En general, la diabetes se trata de la incapacidad del cuerpo para poder trabajar de manera correcta el azúcar (glucosa) que ingresa a nuestro cuerpo de diferentes formas. Pero, ¿para qué requiere glucosa el cuerpo humano? La respuesta simple sería que la requiere como combustible; así como un automóvil requiere gasolina para arrancar, nuestro organismo requiere glucosa para efectuar sus funciones. ¿Cuáles funciones? En realidad, prácticamente todas las funciones que realiza nuestro cuerpo requieren energía, obtenida del azúcar (glucosa) que tienen todos los alimentos.

Con lo anteriormente descrito iniciamos a comprender la importancia del adecuado funcionamiento de las acciones realizadas por nuestro cuerpo para hacer que esa glucosa (azúcar) se transforme en energía y pueda ser utilizada por nosotros.

Entonces, ¿cómo utiliza nuestro organismo la glucosa (azúcar)? Para contestar esta pregunta, debemos hablar de la tan afamada insulina, una hormona (proteína) que nuestro páncreas produce y secreta de manera natural. La insulina es la clave para una correcta utilización de la glucosa (azúcar), ya que permite su entrada en cada una de nuestras células para que se pueda obtener la energía necesaria para que realicen su función. Cuando no tenemos insulina o no funciona de manera adecuada, no habrá posibilidad alguna de que podamos utilizar a la glucosa como fuente de energía y entonces tendremos diferentes consecuencias.

¿Pero cómo es que la insulina deja de funcionar? Primero, dejaremos en claro que la insulina no es la que introduce a la glucosa (azúcar) como tal, sino

que inicia procesos para que se lleve a cabo esta acción. La manera más común por la cual deja de funcionar, es que las células no reconocen a la insulina, haciendo que los procesos necesarios para introducir la glucosa (azúcar) al cuerpo no se lleven cabo; una analogía para explicar este fenómeno, sería que la llave de su automóvil repentinamente deje de funcionar y no logre arrancarlo por más intentos que usted realice, aunque el día anterior hubiese arrancado y funcionado sin problemas, hoy su automóvil no pudo arrancar; algo así sucede con la insulina, el cuerpo un día decide que no es la llave para esa cerradura y sus funciones se alteran.

¿Pero cómo sucede? Existen diferentes factores de riesgo, algunos pueden ser heredados por nuestros padres (componente genético), y otros son adquiridos por nosotros mismos en relación con el ambiente que nos rodea (factores ambientales). Los factores heredados no pueden ser modificados y siempre tendremos ese riesgo presente; pero por el contrario, los factores ambientales pueden ser trabajados para ayudarle a la insulina a no fallar. Estos factores modificables pueden incluir: nuestra alimentación, nuestra actividad física, nuestro peso en relación con nuestra altura, la cantidad y composición de grasa en nuestro cuerpo. Si cuidamos estos factores haremos más difícil que nuestro cuerpo no reconozca a la insulina y, por tanto, se quede sin la energía obtenida a partir de glucosa, y complicaremos sobremanera que podamos padecer diabetes.

A lo largo de este capítulo de la obra se contestarán algunos de los principales mitos relacionados con la diabetes, planteados como preguntas que en la actualidad y con mayor frecuencia se han hecho en los consultorios de medicina y nutrición.

¿Puedo hacerme diabético si sufro un susto intenso?

Las personas hacen mucho esta pregunta debido a una asociación preexistente en la cual existe un gran número de pacientes que son diagnosticados después de haber sido hospitalizados como consecuencia de un aumento en la cantidad de glucosa (azúcar) en sangre, lo cual sucedió posterior a haber sufrido un susto o trauma.

Pero, ¿qué hay detrás de este fenómeno? La verdad oculta detrás de este fenómeno se explica por las reacciones que tiene el cuerpo al evento, así como una condición médica preexistente que ignoramos tener, ya que no ocasiona síntomas.

La diabetes tipo 2 no causará síntomas en etapas tempranas de la enfermedad, y será sólo hasta que haya dañado algún órgano que se presentarán estos síntomas, que de manera crónica (meses a años) podrán ir en aumento si no se tiene el debido cuidado; entonces, ¿qué pasó en el caso anterior? La presentación de la diabetes no será igual en todos los pacientes, y existirán casos con manifestaciones que puedan presentarse de manera aguda, como es el caso expuesto anteriormente, y que son consecuencia directa de un aumento brusco de los niveles de glucosa.

Debemos también explicar cómo responde el cuerpo a un susto; lo primero es que en la sangre se genera un aumento en la cantidad de adrenalina y cortisol, que al igual que la insulina, son hormonas, pero generadas en una glándula ubicada sobre los riñones, la glándula suprarrenal.

En el hígado la adrenalina estimula la producción de glucosa (azúcar) a través de dos procesos: 1) descompone ciertos elementos contenidos en el hígado, que debido a sus características pueden ser transformados en glucosa, y 2) ayuda a promover la creación de glucosa a partir de las grasas y las proteínas. Podemos concluir que el efecto neto de la adrenalina es aumentar las concentraciones en sangre de glucosa.

El cortisol, por su parte, divide su efecto sobre la glucosa (azúcar) en dos mecanismos: 1) su secreción en el hígado incrementará directamente la producción de glucosa, y 2) a nivel de diversos órganos, como el músculo, cerebro, corazón y tejido graso, tendrá como efecto que éstos no pueden utilizar adecuadamente la glucosa al interferir directamente con la función de la insulina, este mecanismo es conocido como resistencia a la insulina.

Muchos de los pacientes a los que el médico les da el diagnóstico de diabetes tipo 2, no acudieron a consulta pensando en padecer esta enfermedad, esto debido a que no suele tener síntomas en sus primeras etapas, aunado a que muchas personas no suelen tener la costumbre de realizarse exámenes de rutina para revisar su salud y tratar de prevenir lo más posible, y desgraciadamente en este punto, ya con un diagnóstico establecido, el metabolismo de la glucosa lleva al menos entre tres y cinco años alterado, y al tener esta condición preexistente, que podríamos decir está en pausa, al sufrir un susto o trauma la respuesta del cuerpo será liberar grandes cantidades de adrenalina y cortisol, como hemos mencionado ya con anterioridad, lo que generará el aumento

significativo de los niveles de glucosa (azúcar) en sangre; este aumento, junto con el ambiente de resistencia a la insulina, ocurriendo a la vez, propiciará las condiciones para que el paciente pueda ser desgraciadamente diagnosticado con diabetes, que no es consecuencia del susto o del trauma, pero permitió que pudiera ser diagnosticado.

¿Es todo medicamento inyectado para la diabetes, insulina?

A partir del año 2000 se introdujo en el mercado mundial una familia de medicamentos diseñados para tratar la diabetes en presentaciones inyectables, éstas deben aplicarse debajo de la piel, como algunos tipos de vacunas. Sin embargo, el uso de esta familia aumentó hasta el año 2011, cuando el medicamento llamado “liraglutida” entró en el mercado. Hoy en día cualquier persona que cuente con diagnóstico de diabetes puede ser candidata para su empleo en el tratamiento. Hay algo muy importante para tener en cuenta: los medicamentos de esta familia, como la liraglutida o semaglutida, no son insulina, dejando en claro que no todo medicamento inyectado para el tratamiento de la diabetes es insulina.

Pero, ¿qué son estos nuevos medicamentos?, ¿cómo actúan para tratar la enfermedad?, ¿cuál es su perfil de seguridad?

Primero, estos fármacos son conocidos como análogos de incretinas. Las incretinas son un grupo de proteínas que funcionan como hormonas que se liberan desde células de nuestro intestino después de haber consumido alimentos y, que en general, ayudan a reducir los niveles de glucosa en el cuerpo. De todas las incretinas existentes, la principal es la llamada “péptido similar al glucagón tipo 1” (GLP-1), la cual al ser inyectada en un paciente tiene los siguientes efectos:

1. Estimula la secreción de insulina por parte del páncreas de manera natural cuando los niveles de glucosa son altos, evitando así bajas en el nivel de glucosa cuando no deban presentarse, teniendo así la certeza y seguridad para su empleo como tratamiento para la diabetes, ya que esto es un riesgo latente que pone en riesgo la vida del paciente.
2. Inhibe la liberación de hormonas que aumentan la cantidad de glucosa a través del hígado, mediante los mecanismos que se mencionaron antes, ocasionados por ejemplo por la adrenalina y el cortisol.

3. Retrasa el vaciamiento del estómago, es decir, tendremos más tiempo el alimento que consumimos dentro de nuestro estómago, lo cual genera una sensación de saciedad en la persona que lo usa, disminuyendo las veces que comemos, así como la cantidad de alimento ingerido en cada comida, con lo cual se promueve la pérdida de peso.
4. Directamente en el cerebro, genera la liberación de sustancias que bloquean los mecanismos para que podamos tener hambre, contribuyendo también a la pérdida de peso.

En resumen, estos nuevos fármacos no son ningún tipo de insulina, pero son muy útiles para el tratamiento de la diabetes tipo 2 al regular la relación y balance que debe existir entre la insulina y la glucosa, además de ayudar al paciente con la pérdida de peso, misma que debe ser reforzada con una alimentación sana, además de ejercicio en el paciente. Presentan un perfil de seguridad muy alto para los pacientes.

Como dice el dicho: “matar dos pájaros de un tiro”, regulan la glucosa del paciente con diabetes y le ayudan a bajar de peso, mejorando así su calidad de vida.

¿Por qué me falló el riñón al ser un paciente con diabetes?

Muchas personas con diabetes desarrollarán una enfermedad en el riñón debido a la diabetes o alguna otra enfermedad de las que suelen acompañarla. De las complicaciones a largo plazo de la diabetes, la enfermedad renal crónica es la que mayor impacto en la vida diaria y económica tiene en el paciente con esta enfermedad.

La presencia y gravedad de la enfermedad renal crónica pueden condicionar que las personas tengan un mayor riesgo de sufrir resultados adversos para la salud, como calidad de vida reducida, enfermedad renal terminal y daño progresivo a otros órganos, lo que produce una mortalidad prematura. También están presentes otros factores que contribuyen a la enfermedad renal, como presión arterial alta (hipertensión), alteraciones en las grasas del cuerpo (dislipidemia), obesidad, así como problemas con las venas y arterias del riñón, que producirán lesiones y que las células que forman el riñón mueran y dejen de funcionar.

De los aproximadamente 400 millones de personas con diabetes tipo 2 en todo el mundo, más o menos la mitad tendrá en algún momento evidencia de tener enfermedad renal crónica. La cantidad de pacientes con diabetes tipo 1 es muy diferente a la que existe en los pacientes con diabetes tipo 2. Se cree que aproximadamente un tercio de todas las personas con diabetes tipo 1 desarrollarán enfermedad renal crónica a lo largo de su vida. Esta diferencia se debe principalmente a que las personas con diabetes tipo 1 son generalmente más jóvenes y más sanas cuando les diagnostican la enfermedad y padecen menos enfermedades comórbidas, como obesidad o hipertensión, que aquéllos con diabetes tipo 2. El número de pacientes, así como los síntomas que tienen y presentan mientras tienen esta enfermedad varía considerablemente entre países y entornos en los que viven los pacientes.

En la diabetes, hay un exceso de glucosa (azúcar) en los vasos sanguíneos de los pacientes, por lo que todas las células están crónicamente expuestas a niveles elevados de esta azúcar, pero sólo algunas muestran señales de que están dejando de funcionar, algunas de ellas son las células que forman las venas y arterias, es decir, los vasos sanguíneos. El flujo excesivo de glucosa (azúcar) en los vasos sanguíneos conduce a que se produzcan sustancias que son tóxicas para el cuerpo, éstas provocan inflamación, fibrosis, función alterada de las células y muerte de las mismas.

Aunque los niveles de glucosa (azúcar) elevados en sangre son un requisito esencial para la enfermedad renal crónica, rara vez es el único factor que la propicia. Otros factores que propician el desarrollo de esta enfermedad incluyen alteraciones en el metabolismo, por ejemplo en las grasas del cuerpo, así como factores que tienen que ver con el flujo de la sangre que incita a la activación de diversos mecanismos del cuerpo para buscar llevarla a niveles normales. Por sí solos, estos últimos factores no causan enfermedad renal diabética, sino que, en presencia de diabetes, son el ambiente perfecto para que dentro del riñón se puedan crear diversas sustancias que alteran su función y su estructura, traduciéndose en una función inadecuada.

Además de transportar glucosa (azúcar), la sangre se encarga de llevar el oxígeno que respiramos a todo el cuerpo para que funcione de manera correcta. Cuando hay exceso de glucosa (azúcar) en la sangre, la cantidad que utilizan las células disminuye, lo que hace que usen más oxígeno, tratando de

mantener un funcionamiento normal. Debido al exceso de glucosa (azúcar) en la sangre, las paredes que forman los vasos sanguíneos empiezan a fallar, haciendo que el flujo normal de sangre disminuya, lo que provoca que menos oxígeno llegue a las diferentes células del cuerpo, por lo que el que ya se tiene se utiliza al máximo pero no se repone, dejando al cuerpo con poco oxígeno para ser usado, condición llamada hipoxia. Esta baja de oxígeno en los riñones producirá cambios en los vasos sanguíneos que llegan a ellos, así como en los mismos riñones.

Los riñones se encargan de limpiar la sangre que corre por nuestro cuerpo a través de un proceso que se llama “filtrado glomerular”, mediante el cual la sangre que ha sido limpiada, regresa al cuerpo, mientras que todos los desechos que han sido extraídos de la sangre, después de atravesar un sistema de tuberías dentro del riñón para ver si no quedan cosas que el cuerpo aún pueda utilizar, formarán la orina.

El exceso de glucosa (azúcar) que lleva la sangre que entra en el riñón para ser limpiada, así como la menor cantidad de oxígeno que llega, como ya se dijo antes, hará que los riñones inicien a realizar procesos para tratar de compensar este problema, lo que ocasionará que muchas de las células del riñón mueran, así como que la tubería que forma la orina, de cierta forma sea ocluida por cambios en las células que la forman, evitando así que se genere una cantidad adecuada de orina, y que la que se produce no pueda ser eliminada de forma correcta, progresando así, hasta el momento en que deja de funcionar por completo.

¿Por qué me falló la vista al ser un paciente con diabetes?

Lo primero es aprender que la pérdida de visión no es causada por el uso de ningún medicamento que sea empleado para el tratamiento de la diabetes tipo 2, sino que será consecuencia del daño producido por las alteraciones que la enfermedad le hace a las estructuras que forman el ojo y que ayudan a su correcta función.

En los pacientes con diabetes puede presentarse falla de la vista debido a una enfermedad llamada “retinopatía diabética”, una complicación en los vasos sanguíneos.

La retinopatía diabética tiene varias etapas o grados que van en aumento y son: leve, moderada, severa y proliferativa, siendo esta última la más grave.

Aunque esta enfermedad está presente en aproximadamente una tercera parte de las personas con diabetes, solamente entre 5 y 10% puede llegar a la etapa proliferativa poniendo en riesgo su visión. Sin embargo, las personas con diabetes *mellitus* tipo 2 tienen más del 50% de posibilidades de desarrollar esta enfermedad.

Algunos de los factores de riesgo para el desarrollo de la retinopatía diabética incluyen la larga duración de la diabetes, las concentraciones elevadas de azúcar (glucosa) en la sangre y la hipertensión, sin ser estos factores determinantes en la enfermedad, lo que indica que existen pacientes que no desarrollan esta enfermedad a pesar de tener estos factores de riesgo, mientras que pacientes controlados la presentarán.

Daño retiniano sin anomalías microvasculares visibles

Las concentraciones elevadas de glucosa y algunos de los mecanismos alterados que se relacionan con ellas, pueden provocar daño en la retina por diversos métodos (neurodegeneración, deterioro microvascular precoz y deterioro de la unidad neurovascular). Para poder explicar esto, debemos primero decir que la retina está formada por varias capas de neuronas, que son células del sistema nervioso (cerebro) y que a pesar de estar ubicadas en el fondo de nuestros ojos, éstas se conectan directamente al cerebro. Habiendo explicado esto, podemos decir que las dos cosas que caracterizan a la degeneración de las neuronas de la retina son: la apoptosis, que es un tipo de muerte celular (suicidio celular), y el aumento de sustancias que participan en la inflamación. Estos factores influirán en la pérdida de la cantidad de neuronas que existen en la retina, provocando la muerte de las mismas, disminuyendo de a poco la vista del paciente.

Retinopatía diabética no proliferativa leve y moderada

Los primeros cambios en los vasos sanguíneos que se producen en la retina, permitirán que ciertas zonas de los vasos sanguíneos se adelgacen y se formen estructuras que parecen globos inflados denominadas microaneurismas, y hemorragias dentro de la misma retina; estas dos anomalías son las más detectables de forma temprana en la retinopatía diabética no proliferativa temprana. Estas alteraciones producirán fuga de los vasos sanguíneos de la retina, permitiendo así el paso de elementos como proteínas y grasas, de los vasos sanguíneos a

otros espacios donde no deberían encontrarse. Aunado a esto, los elementos encargados de la inflamación en esta zona provocarán que la fuga comentada previamente continúe y aumente debido a su presencia y efecto.

Retinopatía diabética severa no proliferativa

Cuando la enfermedad ha avanzado hasta la etapa severa, habrá daño en los vasos sanguíneos que producirá que se contraigan y sean más delgados, haciendo que menos sangre de la normal llegue a la retina, y por lo tanto, llevando menos oxígeno, elemento necesario para que las células puedan vivir. Además de esto, y debido a estas alteraciones, podrán producirse taponamientos parciales en los vasos sanguíneos debido a la llegada de diversas células, mismas que podrían desprenderse y viajar a través de esta tubería y ocluir en su totalidad vasos sanguíneos más pequeños.

Retinopatía diabética proliferativa

El estadio final de la historia natural de la retinopatía diabética es la retinopatía diabética proliferativa y las complicaciones que se derivan de ella. El principal factor que se encarga de agravar la enfermedad ya existente, es la falta de oxígeno que llega a las células de la retina, ocasionando una hipoxia grave, lo que provoca un desequilibrio entre los elementos que se encargan de regular la creación de vasos sanguíneos nuevos, permitiendo su creación, la característica distintiva de la retinopatía diabética. Estos nuevos vasos sanguíneos no tendrán una estructura normal, lo que los hace frágiles, pudiendo tener hemorragias; asimismo, tienen la tendencia de crecer hacia una estructura llamada cuerpo vítreo, al que terminan uniéndose mediante un tejido de tipo fibrótico. Este tejido puede llegar a contraerse y provocar un desprendimiento de retina derivado de esta tracción, lo que se traduce en una grave pérdida de visión.

Conclusión

A lo largo de este capítulo se han explorado algunos de los mitos comunes sobre la diabetes y hemos proporcionado información basada en evidencia para aclararlos. Es importante que se recuerden los siguientes puntos clave:

1. La diabetes no es causada por sustos o traumas. Sin embargo, si una persona con una condición preexistente atraviesa por estas situaciones estresantes en las que sufre la alteración temporal de los niveles de glucosa (azúcar) en la sangre, puede hacer que se le pueda diagnosticar.
2. No todos los medicamentos inyectables para la diabetes son insulina. Los análogos de incretinas, como la liraglutida y la semaglutida, son opciones de tratamiento efectivas que funcionan de manera diferente a la insulina, pero que ayudan a controlar la diabetes, además de ayudar a controlar el peso del paciente.
3. Los problemas renales en pacientes diabéticos son una complicación a largo plazo de la enfermedad, no un efecto secundario de los medicamentos. El control adecuado de los niveles de azúcar en sangre y la presión arterial pueden ayudar a prevenir o retrasar estas complicaciones.
4. La pérdida de visión en la diabetes se debe principalmente a la retinopatía diabética, una complicación que se desarrolla gradualmente y que puede prevenirse o manejarse con un buen control de la glucosa y revisiones oftalmológicas regulares.
5. El tratamiento adecuado de la diabetes, que puede incluir medicamentos, cambios en el estilo de vida y monitoreo regular, es crucial para prevenir complicaciones y mantener una buena calidad de vida.

Entender estos conceptos puede ayudarle a manejar mejor su diabetes o a apoyar a un ser querido que vive con esta condición. Recuerde siempre consultar con profesionales de la salud para obtener asesoramiento personalizado y mantenerse informado sobre los avances en el tratamiento de la diabetes.

La diabetes es una enfermedad manejable, y con el conocimiento adecuado y atención médica apropiada, las personas que la padecen pueden llevar a cabo sus vidas de forma plena y saludable.

Lecturas recomendadas

Antonelli, D., Rabkin, Y., Turgeman, Y., & Jabaren, M. (2023). Type 2 Diabetes Mellitus: GLP1 Receptor Agonists and SGLT2 Inhibitors in Patients Referred to Ambulatory Consultant Cardiology Clinics. *The Israel Medical Association Journal*, 25(2), 143-146.

- Antonetti, D. A., Klein, R., & Gardner, T. W. (2012). Diabetic retinopathy. *New England Journal of Medicine*, 366(13), 1227-1239.
- Caramori, M. L., & Rossing, P. (2022). Diabetic Kidney Disease. En K. R. Feingold, B. Anawalt, M. R. Blackman, A. Boyce, G. Chrousos, W. W. de Herder, K. Dhatariya, K. Dungan, J. Hofland, S. Kalra, G. Kaltsas, C. Koch, P. Kopp, M. Korbonits, C. S. Kovacs, W. Kuohung, B. LaFerrère, M. Levy, E. A. McGee, R. McLachlan, J. Purnell, R. Sahay, F. Singer, M. A. Sperling, C. A. Stratakis, D. L. Trencé, & D. P. Wilson (Eds.), *Endotext*. MDtext.com, Inc.
- Cheung, N., Mitchell, P., & Wong, T. Y. (2010). Diabetic retinopathy. *The Lancet*, 376(9735), 124-136.
- Di Dalmazi, G., Pagotto, U., Pasquali, R., & Vicennati, V. (2012). Glucocorticoids and type 2 diabetes: From physiology to pathology. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 525093. <https://doi.org/10.1155/2012/525093>
- Ding, J., & Wong, T. Y. (2012). Current epidemiology of diabetic retinopathy and diabetic macular oedema. *Current Diabetes Reports*, 12(4), 346-354.
- Ferris, H. A., & Kahn, C. R. (2016). New mechanisms of glucocorticoids in the brain. *Trends in Endocrinology & Metabolism*, 27(9), 637-648. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2016.06.002>
- Geer, E. B., Islam, J., & Buettner, C. (2014). Mechanisms of glucocorticoid-induced insulin resistance. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, 43(1), 75-102. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2013.10.005>
- Georgianos, P. I., Vaios, V., Eleftheriadis, T., Papachristou, E., & Liakopoulos, V. (2023). Therapeutic Advances in Diabetic Kidney Disease. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(3), 2803. <https://doi.org/10.3390/ijms24032803>
- Kuo, T., McQueen, A., Chen, T. C., & Wang, J. C. (2015). Regulation of glucose metabolism by glucocorticoids. *Advances in Experimental Medicine and Biology*, 872, 99-126. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2895-8_5
- Maple-Brown, L., Shaw, J., Hare, M., Ng, E., & Wood, A. (2022). Glucagon-like peptide-1 receptor agonist (GLP1-RA) therapy in type 2 diabetes. *Australian Journal of General Practice*, 51(7), 513-518.
- Melchiorson, J., Sørensen, K., Bork-Jensen, J., Kizilkaya, H., Gasbjerg, L., Hauser, A., Rungby, J., Sørensen, H., Vaag, A., Nielsen, J., Pedersen, O., Linneberg, A., Hartmann, B., Gjesing, A., Holst, J., Hansen, T., Rosenkilde, M., & Grarup, N. (2023). Rare Heterozygous Loss-of-Function Variants in the Human GLP-1 Receptor are not Associated with Cardiometabolic Phe-

- notypes. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 108(10), 2821-2833. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad328>
- Mende, C. W. (2022). Chronic Kidney Disease and SGLT2 Inhibitors: A Review of the Evolving Treatment Landscape. *Advances in Therapy*, 39(1), 148-164. <https://doi.org/10.1007/s12325-021-01994-2>
- Navaneethan, S. D., Zoungas, S., Caramori, M. L., Chan, J. C. N., Heerspink, H. J. L., Hurst, C., Liew, A., Michos, E. D., Olowu, W. A., Sadusky, T., Tandon, N., Tuttle, K. R., Wanner, C., Wilkens, K. G., Craig, J. C., Tunnickliffe, D. J., Tonelli, M., Cheung, M., Earley, A., ... & de Boer, I. H. (2023). Diabetes Management in Chronic Kidney Disease: Synopsis of the KDIGO 2022 Clinical Practice Guideline Update. *Annals of Internal Medicine*, 176(3), 381-387. <https://doi.org/10.7326/M22-2904>
- Rafacho, A., Ortsäter, H., Nadal, A., & Quesada, I. (2014). Glucocorticoids in insulin resistance, metabolic syndrome, and type 2 diabetes. *Frontiers in Endocrinology*, 5, 148. <https://doi.org/10.3389/fendo.2014.00148>
- Riva, C. E., Logean, E., & Falsini, B. (2005). Visually evoked hemodynamical response and assessment of neurovascular coupling in the optic nerve and retina. *Progress in Retinal and Eye Research*, 24(2), 183-215.
- Rossing, P., Baeres, F. M. M., Bakris, G., Bosch-Traberg, H., Gislum, M., Gough, S. C. L., Idorn, T., Lawson, J., Mahaffey, K. W., Mann, J. F. E., Mersebach, H., Perkovic, V., Tuttle, K., & Pratley, R. (2023). The rationale, design and baseline data of FLOW, a kidney outcomes trial with once-weekly semaglutide in people with type 2 diabetes and chronic kidney disease. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 38(9), 2041-2051. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfad009>
- Silva, K. C., Pinto, C. C., Biswas, S. K., de Faria, J. B., & de Faria, J. M. (2007). Hypertension increases retinal inflammation in experimental diabetes: A possible mechanism for aggravation of diabetic retinopathy by hypertension. *Current Eye Research*, 32(6), 533-541.
- Simó, R., Carrasco, E., García-Ramírez, M., & Hernández, C. (2006). Angiogenic and antiangiogenic factors in proliferative diabetic retinopathy. *Current Diabetes Reviews*, 2(1), 71-98.
- Thomas, M. C., Brownlee, M., Susztak, K., Sharma, K., Jandeleit-Dahm, K. A., Zoungas, S., Rossing, P., Groop, P. H., & Cooper, M. E. (2015). Diabetic kidney disease. *Nature Reviews Disease Primers*, 1, 15018. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2015.18>

- Verberne, A. J., Korim, W. S., Sabetghadam, A., & Llewellyn-Smith, I. J. (2019). Adrenaline and noradrenaline secretion from the adrenal medulla. *Physiology*, 34(5), 357-368. <https://doi.org/10.1152/physiol.00028.2019>
- Wheeler, D. C., Stefansson, B. V., Batiushin, M., Bilchenko, O., Cherney, D. Z. I., Chertow, G. M., Douthett, W., Dwyer, J. P., Escudero, E., Pecoits-Filho, R., Furuland, H., Górriz, J. L., Greene, T., Haller, H., Hou, F. F., Kang, S. W., Isidoro, R., Khullar, D., Mark, P. B., ... & Heerspink, H. J. L. (2020). The dapagliflozin and prevention of adverse outcomes in chronic kidney disease (DAPA-CKD) trial: Baseline characteristics. *Nephrology Dialysis Transplantation*, 35(10), 1700-1711. <https://doi.org/10.1093/ndt/gfaa234>
- Wong, T. Y., Cheung, C. M., Larsen, M., Sharma, S., & Simó, R. (2016). Diabetic retinopathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 2, 16012. <https://doi.org/10.1038/nrdp.2016.12>
- Wong, T. Y., Klein, R., Islam, F. A., Cotch, M. F., Folsom, A. R., Klein, B. E., Sharrett, A. R., & Shea, S. (2006). Diabetic retinopathy in a multi-ethnic cohort in the United States. *American Journal of Ophthalmology*, 141(3), 446-455.
- Yaribeygi, H., Panahi, Y., Sahraei, H., Johnston, T. P., & Sahebkar, A. (2017). The impact of stress on body function: A review. *EXCLI Journal*, 16, 1057-1072. <https://doi.org/10.17179/excli2017-480>
- Zhang, X., Saaddine, J. B., Chou, C. F., Cotch, M. F., Cheng, Y. J., Geiss, L. S., Gregg, E. W., Albright, A. L., Klein, B. E., & Klein, R. (2010). Prevalence of diabetic retinopathy in the United States, 2005-2008. *JAMA*, 304(6), 649-656.
- Ziegler, M. G., Elayan, H., Milic, M., Sun, P., & Gharaibeh, M. (2012). Adrenaline, noradrenaline, and dopamine. *Comprehensive Physiology*, 2(4), 2283-2300. <https://doi.org/10.1002/cphy.c120006>

¿Qué nos revela la «conciencia oculta» sobre la mente humana?

LUIS BELTRÁN PARRAZAL^{*,*}
CONSUELO MORGADO VALLE^{*}

Introducción

La conciencia, ese sentido íntimo de la percepción y la experiencia, es un misterio en el centro mismo de nuestra existencia. Nuestra capacidad para sentir, percibir, recordar y decidir es lo que nos hace esencialmente humanos. Sin embargo, a pesar de la importancia central de la conciencia en nuestras vidas, sigue siendo uno de los grandes misterios no resueltos de la ciencia. ¿Cómo una maraña de neuronas, impulsos eléctricos y sustancias químicas en nuestro cerebro produce esta experiencia tan íntima y personal? Este misterio se vuelve aún más intrigante y desafiante en casos en los que las personas parecen mantener la conciencia a pesar de las limitaciones físicas extremas.

El despertar de la mente inmóvil

Consideremos la historia de Miguel, un trabajador de la construcción que tuvo un accidente laboral devastador. Este incidente le dejó en un estado conocido como síndrome de vigilia sin respuesta, en el que los pacientes parecen estar despiertos, pero no muestran signos de conciencia o habilidad para interactuar con su entorno. Los médicos y los seres queridos a menudo interpretan estos

* Instituto de Investigaciones Cerebrales, Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
• Correo de correspondencia: lubeltran@uv.mx, comorgado@uv.mx

estados como una falta total de conciencia, una existencia vegetativa en la que la persona está esencialmente “ausente”.

Pero a pesar de la aparente ausencia de Miguel, los médicos observaron algo peculiar: los ojos de Miguel parecían seguir a su hija cuando ella entraba en la habitación. A pesar de su estado, ¿podría ser que Miguel estuviera consciente a algún nivel? ¿Podría estar «presente» de alguna manera, a pesar de su aparente incapacidad para interactuar con el mundo?

El descubrimiento de la conciencia oculta

Este misterio nos lleva al concepto de “conciencia oculta”. Según un estudio de Adrian M. Owen (2013), algunas personas que parecen incapaces de interactuar con el mundo pueden, de hecho, estar conscientes a un nivel más profundo. Estas personas pueden ser conscientes de su entorno, de sus cuerpos, e incluso de sus pensamientos y emociones, pero son incapaces de comunicar esta conciencia al mundo exterior.

Para comprobar si Miguel se encontraba en este estado, los médicos emplearon una serie de sofisticadas técnicas, entre las que se incluyeron: la tomografía por emisión de positrones (PET), que sigue el consumo de glucosa en el cerebro; la resonancia magnética funcional (fMRI), que detecta variaciones en la actividad cerebral al monitorear el flujo sanguíneo; y también la electroencefalografía (EEG). Estos métodos permiten a los médicos y científicos observar en tiempo real la actividad cerebral, lo que posibilita detectar sutiles cambios en la misma en respuesta a estímulos externos o instrucciones proporcionadas al paciente.

Lo que encontraron fue sorprendente: cuando le hicieron preguntas simples a Miguel, su cerebro respondía. A pesar de su aparente inmovilidad, Miguel era capaz de cambiar su patrón cerebral en respuesta a estas preguntas. Esto sugería que Miguel tenía, de hecho, “conciencia oculta”.

La revolución en la comprensión y el trato de la conciencia

Estamos presenciando un cambio de paradigma en nuestra comprensión de la conciencia y cómo tratamos a las personas con trastornos de ésta, gracias a hallazgos derivados de casos como el de Miguel. Tradicionalmente, la perspectiva predominante ha sido tratar a las personas con síndrome de vigilia sin respuesta como si estuvieran completamente inconscientes. Esta percepción

a menudo llevaba a una falta de interacción significativa y estimulación por parte de los cuidadores, basada en la suposición de que los pacientes no tenían capacidad para percibir o responder a su entorno.

Sin embargo, la noción emergente de "conciencia encubierta" está desafiando estas suposiciones tradicionales y nos insta a reconsiderar nuestras prácticas actuales. Al reconocer la posibilidad de que ciertos pacientes, aunque aparentemente inconscientes, pueden estar experimentando un nivel de conciencia, estamos obligados a revisar y mejorar la forma en que se atiende a estas personas.

Esta transformación de nuestra comprensión implica que necesitamos desarrollar nuevos enfoques en nuestro sistema de atención de la salud. Los médicos, enfermeras, terapeutas y otros profesionales de la salud deben ser educados y capacitados para buscar y reconocer posibles signos de conciencia encubierta. Esto podría implicar el uso de técnicas de neuroimagen más avanzadas, como las utilizadas en el caso de Miguel, así como la implementación de nuevas formas de comunicación asistida.

Pero el cambio no debe limitarse sólo a los entornos de atención médica. Fins y sus colegas (2007) destacan la importancia de promover reformas legales e institucionales para mejorar el reconocimiento y el apoyo de personas como Miguel. Esto puede implicar cambios en las leyes sobre el consentimiento para el tratamiento, los derechos de los pacientes y servicios de apoyo.

Un llamado a la empatía y la acción

Como sociedad, tenemos el deber de integrar estas nuevas comprensiones en nuestra forma de tratar a las personas con trastornos de la conciencia. A nivel práctico, esto significa impulsar cambios en nuestras prácticas médicas y en nuestro sistema legal. Significa proporcionar a estas personas la atención, el respeto y la dignidad que merecen.

A un nivel más profundo, nos desafía a reevaluar lo que valoramos y respetamos en el ser humano. ¿Es la habilidad de comunicarse y moverse de la manera convencional lo que hace que una vida sea valiosa? ¿O es la presencia de la conciencia, en cualquiera de sus formas, lo que realmente cuenta? La creciente comprensión de la conciencia encubierta nos impulsa a responder a estas preguntas de manera más profunda y reflexiva.

La conciencia, un concepto siempre en evolución

El descubrimiento de la conciencia encubierta ha desatado una serie de interrogantes acerca de la esencia y la definición de la conciencia misma. La conciencia ha sido un concepto intrincado y en constante evolución que ha desafiado a filósofos, científicos y médicos por igual durante siglos.

¿Qué significa ser consciente? Tradicionalmente, la conciencia se ha considerado como la capacidad de experimentar y percibir los estímulos del entorno y reaccionar a ellos. Implica una cierta cantidad de autoconciencia, la capacidad de reflexionar sobre uno mismo y las propias acciones. En este contexto, ¿cómo definimos la conciencia en casos de conciencia encubierta? ¿Podría haber diferentes grados o niveles de conciencia, algunos de los cuales podrían no ser tan evidentes o fácilmente detectables como otros?

¿Cómo medimos la conciencia? En la medicina moderna, la evaluación de la conciencia se basa a menudo en signos externos y observables, como la respuesta a los estímulos y la capacidad de comunicación. Pero, como sugieren los casos de conciencia encubierta, estos indicadores convencionales pueden no ser suficientes. Podría ser necesario desarrollar nuevas herramientas y métodos, tal vez basados en técnicas de neuroimagen avanzadas o en formas más sutiles de comunicación y respuesta, para detectar y medir la conciencia en aquellos que no pueden expresarse de la manera convencional.

Un desafío para nosotros todos

Finalmente, no podemos ser simplemente espectadores asombrados ante estos descubrimientos; tenemos un deber ético colectivo hacia estas voces silenciadas. Debemos hacernos la pregunta: “Las personas que experimentan conciencia encubierta están aquí con nosotros... ¿Podemos verlas? ¿Podemos escucharlas?”.

La historia de Miguel, y la creciente comprensión de la conciencia encubierta que su caso representa, es un desafío para todos nosotros. Nos llama a despertar a la complejidad y la diversidad de la experiencia humana, y a reevaluar nuestras suposiciones y prácticas hacia aquellos que parecen estar más allá de nuestro alcance. ¿Y tú, cómo lo ves?

Conclusiones

La conciencia encubierta es un concepto que desafía nuestras nociones tradicionales sobre la conciencia y cómo interactuamos con aquellos que parecen no tenerla. Los avances en neurociencia nos están permitiendo ver más allá de la superficie y reconocer la posibilidad de la conciencia incluso en aquellos que no pueden comunicarse de manera convencional.

Este nuevo entendimiento tiene implicaciones profundas para nuestro sistema de atención médica, nuestras leyes y, lo que es más importante, para cómo valoramos y respetamos la vida humana. Al reconocer y responder a estas "voces silenciadas", tenemos la oportunidad de crear una sociedad más empática, inclusiva y humana.

Lecturas recomendadas

- Editores, V. (s/f). *Neurología.com*. Recuperado julio 10 de 2023, de: <https://neurologia.com/noticia/3201/noticia/3201/uso-de-eeg-para-detectar-la-conciencia-en-pacientes-en-estado-vegetativo>
- El Imparcial. (2019, junio 28). Detectan "conciencia oculta" en pacientes en coma. Noticias de México | *El Imparcial*. <https://www.elimparcial.com/locurioso/Detectan-conciencia-oculta-en-pacientes-en-coma-20190628-0141.html>
- Fins, J. J., & Shapiro, Z. E. (2007). Neuroimaging and neuroethics: Clinical and policy considerations. *Current Opinion in Neurology*, 20(6), 650-654. <https://doi.org/10.1097/WCO.0b013e3282f11f6d>
- Owen, A. M. (2013). Detecting Consciousness: A Unique Role for Neuroimaging. *Annual Review of Psychology*, 64(1), 109-133. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143729>
- Suárez-Morales, M., Mendoza-Popoca, C. Ú., Suárez-Morales, M., & Mendoza-Popoca, C. Ú. (2022). Conciencia de la conciencia durante la anestesia. *Revista Mexicana de Anestesiología*, 45(4), 257-267. <https://doi.org/10.35366/106345>

¿Qué puedo aprender de un gusano llamado *C. elegans* para razonar mis adicciones?

GABRIELA CAMARGO HERNÁNDEZ*

LUIS ANTONIO RAMIREZ CONTRERAS**

Su nombre es *Caenorhabditis elegans* (*C. elegans*), su género es *Rhabditidae*, del latín, “casi redondo”, y su especie es *elegans*, se le llamó *elegans* por ese movimiento sinusoidal tan hermoso y característico que podemos observar cuando ese diminuto nematodo (que no es un parásito, pues es un gusano de vida libre, y mide 1 milímetro de longitud cuando es adulto) se desplaza de un lado a otro. Nosotros, quienes en el planeta Tierra trabajamos con *C. elegans* nos hacemos llamar *worm people* (gente gusano), tenemos nuestra propia identidad como científicos. Utilizamos al organismo modelo *C. elegans* para modelar enfermedades humanas, probar fármacos sintéticos y sustancias de origen natural, también para estudiar genes y vías de señalización relacionadas con enfermedades humanas.

En nuestro grupo de *C. elegans*ólogos de la Universidad de Guadalajara, con el liderazgo del doctor Leonardo Hernández en el Centro Universitario de Ciencias de la Salud y de la doctora Gabriela Camargo en el Centro Universitario de los Altos, estamos investigando con el *C. elegans*, desde si existe toxicidad en el agua que bebemos

* Instituto de Investigación en Ciencias Médicas, Departamento de Ciencias de la Salud, Centro Universitario de los Altos.

** Doctorado en Biociencias, Centro Universitario de los Altos, Universidad de Guadalajara.

diariamente, y hasta enfermedades como el Parkinson, el Alzheimer, la hipoxia y mecanismos neurofisiológicos de las adicciones en el *C. elegans* como modelo de enfermedad. El *C. elegans* hermafrodita posee un poderoso ganglio nervioso constituido por 302 neuronas, de las cuales ocho de ellas son neuronas dopaminérgicas, fundamentales para poder estudiar de qué manera participa el neurotransmisor dopamina en ese circuito llamado de reforzamiento y recompensa involucrado en la neurofisiología de las adicciones.

Este escrito se divide en dos partes:

1. Charlando sobre las generalidades del organismo modelo *C. elegans* y los mecanismos neurofisiológicos ortólogos del nematodo con el sistema dopaminérgico de nosotros los humanos.
2. Explorando ocho neuronas dopaminérgicas del *C. elegans*, su activación ante fármacos sintéticos y no sintéticos y la vía de señalización llamada *opioid-like receptor NPR-17*.

A pesar de la distancia filogenética entre los nemátodos y los vertebrados, entre ellos se comparten muchas similitudes en relación con la fisiología neuronal, por lo que pueden ser comparables. La secuenciación genómica de *C. elegans* ha revelado un nivel de conservación del 60% en relación con los vertebrados, y la homología y estructura génica conservada se ha identificado en los genes responsables de muchos componentes neurales, incluyendo canales iónicos, enzimas que sintetizan neurotransmisores, mecanismos de liberación sináptica, receptores a neurotransmisores y sistemas de segundos mensajeros. En el nemátodo se ha demostrado la existencia de la transducción mediada por neurotransmisores como la acetilcolina ACh, la Serotonina 5Ht, la dopamina, el glutamato, y el ácido gammaaminobutírico (GABA), como ocurre en los vertebrados.

C. elegans es uno de los organismos relativamente más simples, pero con un sistema nervioso complejo que está constituido por 302 neuronas, lo que permite ser usado como modelo animal en estudios genéticos y fisiológicos. *C. elegans* es un nemátodo de vida libre de 1 mm de longitud y habita climas templados (18 - 22° C). Ha sido usado como modelo de estudio para la biología, genética del desarrollo y neurofisiología, entre otros. El desarrollo ontogénico de cada célula neural ha sido caracterizado, y se conoce el arreglo casi invariable de sus 5,000 sinapsis químicas y 2,000 uniones neuromusculares. Su sistema

nervioso relativamente simple sustenta algunas conductas que han sido estudiadas cuantitativamente.

Mientras que actualmente la literatura científica menciona que nuestro cerebro completo, de animal humano, tiene aproximadamente 80 mil millones de neuronas, y es un conteo aproximado, pues hasta el día de hoy nadie ha contado una por una cada una de nuestras neuronas, en los cerebros humanos realizamos un conteo post mortem por rebanada y por campo en el microscopio, y de esta manera conseguimos un número promedio por el total de los campos cuantificados, fabulosamente el *C. elegans* hermafrodita con sus 302 neuronas perfectamente contadas, pues se conoce cuál neurona está unida con otra y sabemos cuál es el neurotransmisor que sintetiza cada neurona y que estas 302 neuronas sintetizan casi todos los neurotransmisores que vertebrados. Principalmente en relación con los mecanismos neurofisiológicos involucrados en las adicciones en vertebrados participan de manera importante el neurotransmisor dopaminérgico, la dopamina siempre está presente en el circuito de reforzamiento y recompensa, interactuando claro con otros neurotransmisores como las beta-endorfinas, que en vertebrados son fabricados en una estructura cerebral llamada núcleo arcuato (en latín) o núcleo arqueado, estas maravillosas beta-endorfinas se liberan al momento en que la mujer tiene un parto, provocando un efecto de analgesia o en el o los momentos cuando los vertebrados tenemos un orgasmo.

Ortólogo: si leemos el significado de ortólogo en el Diccionario de la Real Academia Española (RAE), la palabra “ortólogo” tiene un significado: En genética, que es especialmente lo que a nosotros nos interesa al menos en este capítulo, se refiere a genes homólogos de distintas especies que descienden de un gen único de un ancestro común, de esta manera decimos que la secuencia de un gen puede ser diferente después de su evento de especiación, pero el gen y su función principal se conservan.

Hasta el día de hoy sabemos que ocho de las 302 neuronas del *C. elegans* son dopaminérgicas y que además de esto, estudios en vertebrados han demostrado la existencia del sistema opioide endógeno que se agrupa en tres familias: endorfinas, encefalinas, meta-encefalinas y las dinorfinas, la proopiomelancortina da lugar a las α y β -endorfinas. Actualmente en el nemátodo *C. elegans* se ha identificado una vía de señalización llamada *opiod-like receptor* NPR-17, en la que está involucrado un sistema de neuropéptidos que nos están ayudando a

dilucidar los mecanismos neurofisiológicos que subyacen tras las adicciones. ¿Por qué somos adictos a diferentes sustancias o a alimentos? El nemátodo *C. elegans* es un modelo asequible y fácil de producir en el laboratorio con alimentación de una cepa no patógena *escherichia coli* OP50-1. Por lo que una de las consideraciones de este capítulo es que tengamos en cuenta que nuestro *C. elegans* cumple con el principio de las tres erres en la investigación científica:

Este principio lo formularon a comienzos de la década de los sesenta dos biólogos ingleses, Russel y Burch, en su libro *The Principle of Humane Experimental Technique*.

Las tres erres hacen referencia a reemplazar, reducir y refinar.

Las *alternativas de reemplazo* aluden a métodos que eviten o sustituyan el uso de animales. Esto incluye tanto los reemplazos absolutos (es decir, sustituir animales por modelos informáticos), como los reemplazos relativos (es decir, sustituir vertebrados por animales con una menor percepción del dolor, como algunos invertebrados).


Las *alternativas de reducción* aluden a cualquier estrategia que tenga como resultado el uso de un menor número de animales para obtener datos suficientes que respondan a la cuestión investigada, o la maximización de la información obtenida por animal, para así limitar o evitar potencialmente el uso posterior de otros animales, sin comprometer el bienestar animal.

Las *alternativas de refinamiento* aluden a la modificación de la cría de animales o de los procedimientos para minimizar el dolor y la angustia, así como para mejorar el bienestar de los animales utilizados en la ciencia desde su nacimiento hasta su muerte.¹

Así, utilizando al *C. elegans* como organismo modelo en la investigación científica en el área de la neurofisiología de las adicciones, podremos de manera más sencilla ir conociendo un poco más de la neurofisiología de las adicciones, pues hasta hoy aún su etiología completa es desconocida.

Dopamina y opioides

Hasta este momento se está estudiando cómo los receptores μ opioide de vertebrados son modulados por específicamente el receptor dopaminérgico llamado D4 y sus implicaciones por ejemplo con el consumo de morfina. No se conoce

1 Fuente: Green Facts based on the Canadian Council on Animal Care, Three Rs introduction. 

del todo las funciones específicas del D4. Sin embargo, en general conocemos que una síntesis exacerbada de dopamina está directamente relacionada en las alucinaciones que caracterizan a la enfermedad de la esquizofrenia. La morfina es el principal alcaloide del opio, que se extrae del jugo de las semillas de la adormidera o amapola (*Papaver somniferum*).

Se purificó por primera vez en 1806 por el químico alemán Frederick Sertürner, quien la denominó *principium somniferum opii* por sus virtudes narcóticas, y posteriormente *morphium* en honor al dios griego del sueño Morfeo. En 1827 Merk & Company inició la producción y comercialización de la morfina. Es importante que recordemos que la administración de un opiáceo como es la morfina se utiliza sólo bajo estricta prescripción médica. Los opioides endógenos como las β -endorfinas son mucho más potentes que la morfina o la heroína y son liberadas ante un evento neurofisiológico donde es necesario se activen mecanismos de analgesia. Además de analgesia, la administración de morfina produce una sensación de bienestar y placidez, estos efectos pueden resultar muy beneficiosos para determinados pacientes, pues de otra manera tendrían que soportar un gran sufrimiento.

A la vez que se genera tolerancia y dependencia tras el consumo continuado de la droga, se produce un fenómeno denominado sensibilización, que consiste en el incremento de los efectos de la misma en comparación con los observados tras la exposición aguda; en definitiva, un proceso opuesto a la tolerancia, se ha estudiado en ratones, por ejemplo, que la morfina genera sensibilización locomotora, que consiste en un incremento progresivo y persistente en la respuesta psicomotora como consecuencia de la exposición prolongada a la droga. La morfina va a producir un aumento de la liberación de dopamina y durante el consumo continuado de morfina esta liberación de dopamina provocará ese proceso de recompensa y reforzamiento.

Después del cese del consumo de morfina en el organismo, se manifiestan un conjunto de síntomas fisiológicos y emocionales que se denominarán síndrome de abstinencia, por lo que el organismo tratará de recurrir de nuevo al consumo de la sustancia para de nuevo experimentar esa sensación de bienestar o de placer.

En el *C. elegans* podemos observar un comportamiento similar al de la adicción a la morfina a través del receptor opioide NPR-17.

Entre los científicos que trabajamos con el nemátodo *C. elegans* existe un proyecto para poder conocer mecanismos neurofisiológicos que antagonicen las tendencias a consumir sustancias nocivas para la salud y que provoquen que seamos llamados adictos. El *C. elegans* es un excelente modelo invertebrado para estudiar estados patológicos neurobiológicos, pues al tener el receptor opioide NPR-17, se ha podido observar que el *C. elegans* desarrolla una preferencia por señales que previamente se han asociado con drogas adictivas, similar a los hallazgos del condicionamiento en roedores. Además, ya conocemos la existencia de un sistema similar a los opioides en *C. elegans*.

Sin embargo, aún no está claro si *C. elegans* muestra comportamientos similares a la adicción a los opioides, como a la morfina o a la heroína. El *C. elegans* puede presentar una preferencia dependiente de la dosis por la morfina o por la heroína, pues el *C. elegans* posee el mecanismo de quimiotaxis, es decir es capaz de dirigirse a un objetivo por señales químicas (como ocurre con el esperma cuando se dirige a fecundar al óvulo). Luego de la exposición crónica del *C. elegans* a la morfina, podemos utilizar por ejemplo la prueba de preferencia de señal quimiosensorial condicionada (SQC) y al someter al *C. elegans* a este tipo de prueba, podemos bloquear por co-tratamiento con un fármaco antagonista a opioides como la naloxona, y maravillosamente observar que después de la exposición a naloxona el *C. elegans* muestra aversión a la morfina, y podemos decir que la naloxona ha provocado un síndrome de abstinencia en el *C. elegans* tras la exposición crónica a la morfina.

La expresión observada en la SQC inducida por la morfina y la abstinencia de morfina puede ser eliminada en los *C. elegans* mutantes que carecen del receptor similar a opioides NPR-17. Esto es una señal de que la función adictiva del sistema opioide existe en *C. elegans*, y que podemos utilizar al maravilloso *C. elegans* como un modelo útil de adicción a los opioides.

Lecturas recomendadas

- Bargmann, C. (1998). Neurobiology of the *Caenorhabditis elegans* genome. *Science*, 282(5396), 2028-2033.
- Bettinger, J., Carnell, L., Davies, A., y McIntire, S. (2001). The use of *Caenorhabditis elegans* in molecular neuropharmacology. *International Review of Neurobiology*, 62, 195-212.

- Bittar, E. (1998). *Development Biology* (pp. 64-119). Elsevier.
- Ide, S., Kunitomo, H., Iino, Y., e Ikeda, K. (2022). *Caenorhabditis Elegans Exhibits Morphine Addiction-like Behavior via the Opioid-like Receptor NPR-17. Frontiers in Pharmacology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.802701>
- White, J. G., Southgate, E., Thomson, J. N., & Brenner, S. (1986). The structure of the nervous system of the nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 314(1165), 1-340. <https://doi.org/10.1098/rstb.1986.0056>

Persistencia bacteriana y su impacto en la salud humana

ARACELI CASTILLO ROMERO*

MIRIAN COBOS VARGAS*

El cuerpo humano está colonizado por trillones de diferentes tipos de bacterias, muchas de las cuales viven sobre o dentro de nuestro cuerpo como: en piel, nariz, boca, pulmones e intestino, siendo la mayoría importantes para muchos procesos fisiológicos; por ejemplo, algunas participan en la síntesis de vitaminas y otras en la digestión de los alimentos; además, su sola presencia evita, por competencia, que otros microorganismos capaces de generar daño puedan establecerse en nuestro cuerpo. Al grupo de bacterias consideradas como “buenas o benéficas” se les conoce como microbiota bacteriana y son esenciales para nuestra supervivencia (Colotti & Rinaldi, 2020; Da Silva & Domingues, 2017; Shahab & Shahab, 2022). Sin embargo, también existe un grupo de bacterias consideradas como “patógenas”, capaces de comprometer nuestro estado de salud. Cuando estas bacterias patógenas entran a nuestro cuerpo y comienzan a multiplicarse pueden afectar el funcionamiento normal de las bacterias benéficas y, mediante distintos mecanismos como la producción de toxinas, dañar nuestras células y causar una enfermedad; cuando esto ocurre se hace necesario el uso de antibióticos, que son fármacos diseñados para eliminar o inhibir el crecimiento de las bacterias (Zhang *et al.*,

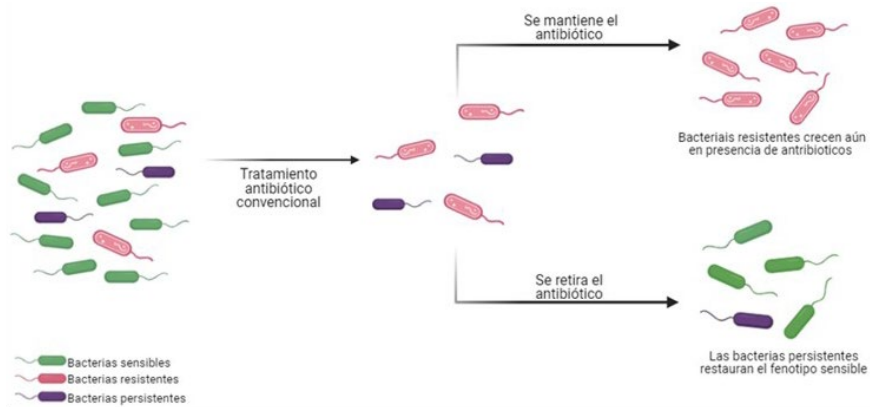
* Universidad de Guadalajara.

2015). Si bien el uso de antibióticos tiene un resultado positivo en la cura de enfermedades, se ha discutido ampliamente que el abuso en el uso de los antibióticos o una exposición inadecuada a éstos puede provocar: 1) alteraciones en la microbiota bacteriana, ocasionándole otro tipo de complicaciones al paciente, y 2) alteraciones en las bacterias patógenas, haciéndolas persistentes, tolerantes o resistentes a éstos, lo que dificulta cada vez más el tratamiento y resolución de las infecciones bacterianas, llevando a un aumento de infecciones persistentes incurables que a la larga podrían convertirse en infecciones crónicas (Ramírez *et al.*, 2020).

Ahora bien, al tratar una población de bacterias patógenas con antibióticos, inicialmente todas las bacterias son sensibles y se eliminan al finalizar el tratamiento. No obstante, se ha observado que existen subpoblaciones de bacterias patógenas capaces de sobrevivir a la exposición de estos medicamentos, evadir el sistema inmune y permanecer dentro de su hospedador durante largos periodos de tiempo, dando lugar al fenómeno que se conoce como *persistencia bacteriana*.

Si bien el término de *persistencia bacteriana* puede ser confundido con *resistencia bacteriana*, es importante resaltar que en el primero no existen cambios genéticos heredados, implica más bien una reprogramación biológica en la que las bacterias disminuyen temporalmente funciones metabólicas importantes como la síntesis de proteínas o ácidos nucleicos entrando en un estado de latencia, y dado que los antibióticos han sido diseñados para interferir en procesos metabólicos activos, éstos sólo pueden actuar si las bacterias se encuentran en fase de crecimiento, por lo tanto, bacterias en estado de latencia pueden sobrevivir a la exposición prolongada de antibióticos sin ser resistentes (Formentini, 2017; Suclupe-Campos & Aguilar-Gamboa, 2020) (Figura 1).

Figura 1. Diferentes respuestas bacterianas a la exposición de antibióticos y su relación con la formación de subpoblaciones persistentes



Fuente: creada en BioRender.com

Los primeros indicios del fenómeno de persistencia bacteriana se tienen registrados desde la denominada “época dorada de los antibióticos”, cuando en 1942 Hobby y su grupo de trabajo detallaron que una parte de una población de *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) permaneció viva después del tratamiento con penicilina, a pesar de ser susceptible al fármaco (Hobby *et al.*, 1942). Dos años después, este mismo efecto fue observado y reportado por el reconocido médico de la Universidad de Dublín, Joseph Bigger (1944), quien demostró en *S. aureus* un fenotipo de supervivencia heterogéneo en el que bajo el efecto de antibióticos gran parte de la población moría rápidamente y una pequeña parte lograba sobrevivir; a la población superviviente la consideró “persistente a los antibióticos” (Bigger, 1944). Actualmente se sabe que las bacterias que muestran este fenotipo de persistencia, aunque son capaces de superar la acción de los antibióticos, no modifican las concentraciones mínimas inhibitorias de estos fármacos en bacterias sensibles (Pacios *et al.*, 2020).

Si bien, tanto la resistencia y la persistencia bacteriana impactan en el incremento de enfermedades infecciosas y muertes atribuibles a las mismas, cuando hablamos de resistencia a los antibióticos, ésta puede ser fácilmente identificable mediante ensayos microbiológicos estándar, y dado que se ha vuelto una amenaza global desde el año 2015, la Asamblea Mundial de la Salud implementó un plan de acción con el cual se busca, entre otras cosas, optimi-

zar el uso de medicamentos antimicrobianos para reducir el desarrollo de la resistencia y la propagación de bacterias resistentes. En cuanto a la persistencia bacteriana, el entendimiento que se tiene sobre este fenómeno es aún limitado. Aunque también se trata de un mecanismo de defensa contra los antibióticos, los marcadores genéticos asociados con muchas infecciones persistentes son imprecisos, dificultando su identificación y medición; en la mayoría de los casos las infecciones persistentes se pasan por alto y quedan sin valor diagnóstico. La evaluación de riesgos que la persistencia bacteriana aporta en el fracaso de los tratamientos con antibióticos y la prevalencia de infecciones persistentes permiten considerarla también como otra de las mayores amenazas para la salud pública (Huemer *et al.*, 2020).

Si bien la resistencia a los antibióticos se considera un fenómeno fenotípico transitorio, después de exposiciones prolongadas y continuas a concentraciones letales de antibióticos las bacterias persistentes pueden eventualmente adquirir mutaciones, desarrollando así resistencia genotípica, agravando más el problema de la propagación de cepas resistentes, ejemplo claro de ello se observa en los trabajos con *Mycobacterium tuberculosis* (*M. tuberculosis*) y *Escherichia coli* (*E. coli*) (Sebastián *et al.*, 2017; Windels *et al.*, 2019).

En los últimos años se han realizado numerosas investigaciones encaminadas a comprender los mecanismos que dan lugar al estado fisiológico que permite a las bacterias persistentes revertirse rápidamente a un crecimiento de tipo salvaje y repoblar al organismo una vez que se eliminan las condiciones estresantes. El conocimiento generado hasta el momento muestra que son numerosos los factores que conducen a la formación de bacterias persistentes, desde el estrés ocasionado por los antibióticos, hasta la escasez de nutrientes por el propio sobrecrecimiento bacteriano. Cuando ocurre alguna de estas situaciones, las bacterias persistentes pueden poner en marcha uno o varios mecanismos de rescate, como el “sistema toxina-antitoxina”, en el cual la bacteria secreta una toxina capaz de inhibir procesos esenciales para ella y quedar en un estado latente metabólicamente, pero a su vez es capaz de secretar la antitoxina, con la cual se contrarresta el efecto cuando el factor estresante ha desaparecido. Otros de los mecanismos más estudiados se relacionan con la capacidad de las bacterias de vivir dentro de algunas células, como los macrófagos y de formar biopelículas; en este último caso las bacterias crecen agregadas y rodeadas por una matriz extracelular compuesta por exopolisacáridos, proteínas y ácido

desoxirribonucleico (ADN) extracelular que les permite mantenerse unidas y comunicarse entre sí mediante señales químicas que facilitan su crecimiento y duplicación. Además, actúa como una barrera física que dificulta la penetración de los antibióticos y la actividad de las células del sistema inmunológico, haciendo que las infecciones sean más difíciles de tratar y eliminar (Allewell, 2016; Huemer *et al.*, 2020).

El establecimiento de células persistentes dentro del cuerpo da lugar a las infecciones crónicas, estado en el que las bacterias permanecen “silenciadas”, manteniendo una interacción duradera con su hospedador incluso en presencia de una respuesta inmune activa, en las que se muestran pocos signos externos de enfermedad, pero si el sistema de defensa del cuerpo se altera o debilita, las bacterias patógenas persistentes reaparecen provocando nuevamente signos y síntomas en su hospedador como: inflamación crónica, episodios agudos intermitentes de enfermedad y, en ocasiones, enfermedad terminal (Falkow, 2006; Suclupe-Campos & Aguilar-Gamboa, 2020). Investigaciones recientes han documentado subpoblaciones de bacterias refractarias a los antibióticos convencionales e implicadas en una variedad de infecciones persistentes, como: *M. tuberculosis*, *Salmonella*, *Chlamydia*, *Brucella*, *Borrelia*, *Pseudomonas*, *E. coli*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, sólo por nombrar algunos ejemplos (Grant & Hung, 2013; Suclupe-Campos & Aguilar-Gamboa, 2020).

Persistencia bacteriana en fibrosis quística

La fibrosis quística es una enfermedad hereditaria que puede afectar diferentes órganos, entre los que se encuentran el páncreas y los pulmones. La alteración en las secreciones respiratorias, como consecuencia de la enfermedad, determina una predisposición para la colonización por bacterias patógenas capaces de provocar infecciones broncopulmonares crónicas, entre las que destaca *Pseudomonas aeruginosa* (*P. aeruginosa*) como el microorganismo oportunista más relevante en el adulto y la causa principal del deterioro broncopulmonar progresivo. En los últimos años, los altos niveles de mecanismos de resistencia intrínsecos y adquiridos por esta bacteria para contrarrestar la mayoría de los antibióticos han provocado que su erradicación sea cada vez más difícil (Ciofu & Tolker-Nielsen, 2019; Pang *et al.*, 2019). Entre los mecanismos de resistencia adaptativa adquiridos por la bacteria y recientemente caracterizados, se

encuentra la formación de biopelículas, lo que le permite evadir la respuesta inmunológica del huésped y persistir en el tracto respiratorio por considerables periodos de tiempo, y la generación de subpoblaciones persistentes tolerantes a múltiples fármacos, lo que resulta en una infección persistente crónica y un mal pronóstico para los pacientes (Ciofu & Tolker-Nielsen, 2019). Epidemiológicamente, se estima que entre el 50 y el 70% de los pacientes con fibrosis quística crónica están colonizados por *P. aeruginosa*, lo que se traduce en una marcada reducción en la calidad de vida de los pacientes (Crull *et al.*, 2018; Rodrigo-Troyano *et al.*, 2018).

Persistencia bacteriana en la tuberculosis

La tuberculosis, enfermedad causada por la bacteria aerobia *M. tuberculosis*, es considerada como la principal causa de muerte en todo el mundo por enfermedad infecciosa. Esta bacteria, que afecta principalmente a los pulmones puede propagarse a otros órganos complicando significativamente el estado de salud del paciente. Aunque la tuberculosis es curable con un diagnóstico y tratamiento oportunos, aproximadamente el 10% de los pacientes experimentan recaídas incluso después de un tratamiento aparentemente exitoso. El esquema de tratamiento para la tuberculosis incluye el uso de múltiples antibióticos y periodos extremadamente largos de administración, de al menos cuatro, seis o nueve meses. Esto último debido a la capacidad de *M. tuberculosis* de volverse tolerante, y/o a la presencia de poblaciones bacterianas heterogéneas con diferentes grados de sensibilidad a los fármacos; bacterias persistentes capaces de sobrevivir a la eliminación incluso a concentraciones muy altas de fármacos.

Infecciones persistentes en otros sistemas del cuerpo humano

Además de las infecciones crónicas en las vías respiratorias, es crucial abordar cómo ciertas bacterias pueden establecer infecciones persistentes en otros sistemas del cuerpo humano. La ingesta de alimentos contaminados junto con escasas medidas de higiene, generan condiciones que incrementan el riesgo de infección por una amplia variedad de bacterias, entre las que se encuentra *Helicobacter pylori* (*H. pylori*). Esta bacteria posee propiedades únicas que le permiten sobrevivir en entornos tan adversos como lo es el estómago, donde el ambiente ácido imposibilita normalmente el desarrollo de otro tipo de

microorganismos. *H. pylori* coloniza el epitelio gástrico y ocasiona algunas afecciones como gastritis y úlceras pépticas que generan dolor en el paciente. A lo largo del tiempo esta bacteria ha evolucionado notablemente; proteínas como las flagelinas y los lipopolisacáridos, que eran considerados potentes activadores y antígenos inmunológicos, ya no son reconocidos por receptores de reconocimiento de patrones presentes en células humanas, impidiendo que puedan señalar el peligro al huésped y activar el sistema de defensas. Además, la ya descrita capacidad que tienen las bacterias para producir biopelículas, entre otras, contribuyen a que no pueda ser reconocida por el sistema inmunológico y pueda persistir en el hospedero de forma exitosa (Malfertheiner *et al.*, 2023; Reyes & Peniche, 2019; Rizzato *et al.*, 2019). Poblaciones de *H. pylori* persistentes favorecen el desarrollo de una gastritis crónica, que conduce a la inflamación y daño continuo al epitelio gástrico, creando un entorno propicio para la acumulación de mutaciones genéticas que puede progresar a patologías gastroduodenales graves, como cáncer gástrico o cáncer de colon, entre otros; por lo anterior, la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha clasificado a *H. pylori* como un carcinógeno del grupo 1 (Lim & Chung, 2023; Teimoorian *et al.*, 2018).

Las infecciones de vías urinarias constituyen también un claro ejemplo de enfermedad causada por microorganismos persistentes. Ciertas bacterias pueden afectar la uretra, la próstata y la vejiga; cuando una infección comienza en la vejiga, ésta puede extenderse a uno o a ambos riñones, resultando en una infección renal. En situaciones normales, las infecciones urinarias responden de forma adecuada al tratamiento antibiótico, y un tratamiento rápido previene la mayoría de las complicaciones. Sin embargo, en algunas ocasiones la infección urinaria puede ser recurrente o recidiva. La primera de ellas sucede cuando los pacientes experimentan al menos tres episodios en los últimos 12 meses, o dos episodios en los últimos seis meses de infecciones por diferentes organismos bacterianos. Las infecciones recurrentes son un problema bastante frecuente en mujeres embarazadas, sexualmente activas y durante la menopausia debido al desequilibrio hormonal característico de este periodo y en pacientes con patología urológica (Aggarwal *et al.*, 2024). Por otro lado, cuando se habla de una “infección recidiva”, es porque la misma cepa de bacteria que había causado la primera infección vuelve a manifestarse. Un ejemplo prominente de lo anterior

es la infección de las vías urinarias causada por *E. coli*. Esta bacteria demuestra una sorprendente habilidad para persistir en el tracto urinario, incluso después de ciclos de tratamientos con diferentes antibióticos, incrementando potencialmente el riesgo de generar resistencia; algunos estudios han mostrado que del 30-40% de los pacientes con infección en tracto urinario experimentarán recaídas en algún punto de sus vidas (Forsyth Valerie *et al.*, 2018; Huemer *et al.*, 2020).

Nuevas investigaciones encaminadas a resolver el problema de la persistencia bacteriana

El tratamiento de infecciones bacterianas persistentes, de manera sostenible implica eliminar de manera precisa los patógenos utilizando diagnósticos avanzados, identificando marcadores de infección crónica, seleccionando objetivos antimicrobianos específicos y diseñando agentes que no dañen el medio ambiente. Al igual que con el problema de la resistencia a los antimicrobianos, para el caso de la persistencia bacteriana se están desarrollando estrategias con las que se busca enfrentar o resolver este fenómeno. La mayoría de ellas encaminadas a la búsqueda de nuevas alternativas terapéuticas, incluida la exploración de metabolitos secundarios presentes en plantas y algunos hongos, con actividad biológica. Además, considerando la importancia de las biopelículas en la persistencia bacteriana, se han propuesto terapias combinatorias, como lo sería el efecto anti formación de biopelículas de los péptidos antimicrobianos —moléculas pequeñas de entre 12 y 60 aminoácidos conservados de la respuesta inmune innata— en combinación con la actividad citotóxica de los antibióticos, o el uso de agentes sintéticos dispersantes de biopelículas, que tras su uso, algunas bacterias como *E. coli* han resultado ser más sensibles a dosis convencionales de antibióticos (Pan *et al.*, 2013; Yang *et al.*, 2019). El uso de la terapia adyuvante con virus que infectan y lisan a las bacterias de manera específica, comúnmente llamados “bacteriófagos”, se ha sumado a la lista de alternativas y terapias encaminadas al tratamiento o prevención de infecciones crónicas persistentes; ejemplo claro de sus beneficios, se han documentado principalmente en infecciones refractarias por *P. aeruginosa*, en las que los antibióticos solos no resolvieron la infección (Khawaldeh *et al.*, 2011; Torres-Barceló *et al.*, 2014). Además, ya se han descrito proteínas fágicas

como las endolisinas, que eliminan con éxito las biopelículas de estafilococos y estreptococos, como prometedores agentes biocidas contra *E. coli*, *P. aeruginosa* y *Acinetobacter baumannii* (Fenton *et al.*, 2013; Larpin *et al.*, 2018).

Entre las metodologías que a juicio de muchos sería lo ideal, consisten en “despertar” a las bacterias persistentes, ya que como bien mencionamos la bacteria persistente es aquella bacteria que está en estado latente, metabólicamente inactiva y que no crece; estado que impide que los antibióticos puedan ejercer su efecto citotóxico. Lograr tenerlas en un estado metabólicamente activo permitiría a los antibióticos tradicionales ser efectivos. Además, el reposicionamiento de fármacos se ha perfilado también como una estrategia prometedora (Soclupé-Campos & Aguilar-Gamboa, 2020).

Como medidas de prevención se vienen desarrollando, además, investigaciones encaminadas al desarrollo de vacunas, las cuales podrían enseñar al sistema inmunológico a reconocer y atacar a las bacterias antes de que formen biopelículas o entren en un estado persistente (Huemer *et al.*, 2020).

Otro punto pocas veces mencionado, pero con gran impacto, es que la persistencia bacteriana también se presenta en otros ambientes, como la industria ganadera y los ecosistemas naturales. Estos ambientes pueden actuar como reservorios y puntos de diseminación de bacterias persistentes, lo que subraya la necesidad de abordar el problema desde una perspectiva integral. Este enfoque, conocido como “una sola salud”, reconoce que la salud humana, animal y ambiental están interconectadas. Por lo tanto, para combatir eficazmente la persistencia bacteriana y prevenir la propagación de infecciones resistentes, es esencial considerar todos estos entornos en las estrategias de investigación y manejo (Zabaloy, 2021).

Finalmente, como sociedad podemos tomar varias medidas para enfrentar el problema de la persistencia bacteriana. Aunque a nivel mundial se está buscando apoyar la investigación y el desarrollo de nuevas terapias, las infecciones persistentes seguirán siendo un problema si no hacemos conciencia del uso racional de los antibióticos. Seguir las pautas de prescripción médica, evitar el uso innecesario de antibióticos, educar a la población sobre la importancia de completar los tratamientos antibióticos prescritos y las buenas prácticas de higiene sin lugar a duda permitirán minimizar la selección de bacterias persistentes y resistentes (Melián & de Vera).

Conclusión

La persistencia bacteriana es un fenómeno complejo que dificulta el tratamiento de infecciones crónicas y recurrentes, diferenciándose de la resistencia bacteriana al no implicar cambios genéticos permanentes. El estado de latencia metabólica permite a las bacterias sobrevivir a tratamientos antibióticos y reactivarse posteriormente, causando recaídas. Debido a la falta de métodos diagnósticos específicos y la limitada eficacia de los tratamientos actuales, las bacterias persistentes representan un desafío importante, pues se relacionan con fallas terapéuticas, con infecciones crónicas y con el desarrollo de resistencia a los antimicrobianos, contribuyendo de manera alarmante al aumento de las tasas de morbilidad y mortalidad por infecciones infecciosas.

Lecturas recomendadas

- Aggarwal, N., Leslie, S., & Lotfollahzadeh, S. (2024). Recurrent urinary tract infections. *StatPearls*.
- Allewell, N. M. (2016). Introduction to biofilms thematic minireview series. *Journal of Biological Chemistry*, 291(24), 12527 y 12528.
- Bigger, J. (1944). *Treatment of Staphylococcal Infections with Penicillin by Intermittent Sterilisation*.
- Ciofu, O., & Tolker-Nielsen, T. (2019). Tolerance and Resistance of *Pseudomonas aeruginosa* Biofilms to Antimicrobial Agents: How *P. aeruginosa* Can Escape Antibiotics [Review]. *Frontiers in Microbiology*, 10.
- Colotti, G., & Rinaldi, T. (2020). The Central Role of Gut Microbiota in Drug Metabolism and Personalized Medicine. *Future Medicinal Chemistry*, 12(13), 1197-1200. <https://doi.org/10.4155/fmc-2020-0023>
- Crull, M. R., Somayaji, R., Ramos, K. J., Caldwell, E., Mayer-Hamblett, N., Aitken, M. L.,... & Goss, C. H. (2018). Changing Rates of Chronic *Pseudomonas aeruginosa* Infections in Cystic Fibrosis: A Population-Based Cohort Study. *Clinical Infectious Diseases*, 67(7), 1089-1095. <https://doi.org/10.1093/cid/ciy215>
- Da Silva, G. J., & Domingues, S. (2017). We are never alone: Living with the human microbiota. *Front Young Minds*, 5(35), 10-3389.
- Falkow, S. (2006). Is persistent bacterial infection good for your health? *Cell*, 124(4), 699-702. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2006.02.004>

- Fenton, M., Keary, R., McAuliffe, O., Ross, R. P., O'Mahony, J., & Coffey, A. (2013). Bacteriophage-Derived Peptidase CHAPK Eliminates and Prevents Staphylococcal Biofilms. *International Journal of Microbiology*, 2013(1), 625341. <https://doi.org/https://doi.org/10.1155/2013/625341>
- Formentini, E. (2017). La persistencia bacteriana: Una problemática ignorada por una ciencia sin respuestas: Artículo de opinión. *FAVE Sección Ciencias Veterinarias*, 16(2), 74-82. <https://doi.org/10.14409/favecv.v16i2.6833>
- Grant, S. S., & Hung, D. T. (2013). Persistent bacterial infections, antibiotic tolerance, and the oxidative stress response. *Virulence*, 4(4), 273-283. <https://doi.org/10.4161/viru.23987>
- Hobby, G. L., Meyer, K., & Chaffee, E. (1942). Observations on the Mechanism of Action of Penicillin. *Proceedings of the Society for Experimental Biology and Medicine*, 50(2), 281-285.
- Huemer, M., Mairpady Shambat, S., Brugger, S. D., & Zinkernagel, A. S. (2020). Antibiotic resistance and persistence: Implications for human health and treatment perspectives. *EMBO Reports*, 21(12), e51034. <https://doi.org/https://doi.org/10.15252/embr.202051034>
- Khawaldeh, A., Morales, S., Dillon, B., Alavidze, Z., Ginn, A. N., Thomas, L.,... & Iredell, J. R. (2011). Bacteriophage therapy for refractory Pseudomonas aeruginosa urinary tract infection. *J Med Microbiol*, 60(Pt 11), 1697-1700. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.029744-0>
- Larpin, Y., Oechslin, F., Moreillon, P., Resch, G., Entenza, J. M., & Mancini, S. (2018). In vitro characterization of PlyE146, a novel phage lysin that targets Gram-negative bacteria. *PLoS One*, 13(2), e0192507.
- Malfertheiner, P., Camargo, M. C., El-Omar, E., Liou, J.-M., Peek, R., Schulz, C.,... & Suerbaum, S. (2023). Helicobacter pylori infection. *Nature Reviews Disease Primers*, 9(1), 19. <https://doi.org/10.1038/s41572-023-00431-8>
- Melián, A. M., & de Vera, M. C. (s/f). *Uso racional de antibióticos en pediatría*.
- Pacios, O., Blasco, L., Bleriot, I., Fernández-García, L., González Bardanca, M., Ambroa, A.,...& Tomás, M. (2020). Strategies to Combat Multidrug-Resistant and Persistent Infectious Diseases. *Antibiotics*, 9(2).
- Pan, J., Xie, X., Tian, W., Bahar, A. A., Lin, N., Song, F.,... & Ren, D. (2013). (Z)-4-Bromo-5-(bromomethylene)-3-methylfuran-2(5H)-one sensitizes Escherichia coli persisted cells to antibiotics. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97(20), 9145-9154. <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5185-2>

- Pang, Z., Raudonis, R., Glick, B. R., Lin, T.-J., & Cheng, Z. (2019). Antibiotic resistance in *Pseudomonas aeruginosa*: Mechanisms and alternative therapeutic strategies. *Biotechnology Advances*, 37(1), 177-192. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2018.11.013>
- Ramírez, J., Guarner, F., Bustos Fernández, L., Maruy, A., Sdepanian, V. L., & Cohen, H. (2020). Antibiotics as Major Disruptors of Gut Microbiota [Review]. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10.
- Reyes, V. E., & Peniche, A. G. (2019). *Helicobacter pylori* Dereglates T and B Cell Signalling to Trigger Immune Evasion. En S. Backert (ed.), *Molecular Mechanisms of Inflammation: Induction, Resolution and Escape by Helicobacter pylori* (pp. 229-265). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15138-6_10
- Rizzato, C., Torres, J., Kasamatsu, E., Camorlinga-Ponce, M., Bravo, M. M., Canzian, F., & Kato, I. (2019). Potential Role of Biofilm Formation in the Development of Digestive Tract Cancer with Special Reference to *Helicobacter pylori* Infection [Hypothesis and Theory]. *Frontiers in Microbiology*, 10.
- Rodrigo-Troyano, A., Melo, V., Marcos, Pedro J., Laserna, E., Peiro, M., Suarez-Cuartin, G.,... & Sibila, O. (2018). *Pseudomonas aeruginosa* in Chronic Obstructive Pulmonary Disease Patients with Frequent Hospitalized Exacerbations: A Prospective Multicentre Study. *Respiration*, 96(5), 417-424. <https://doi.org/10.1159/000490190>
- Sebastian, J., Swaminath, S., Nair Rashmi, R., Jakkala, K., Pradhan, A., & Ajitkumar, P. (2017). De Novo Emergence of Genetically Resistant Mutants of *Mycobacterium Tuberculosis* from the Persistence Phase Cells Formed against Antituberculosis Drugs In Vitro. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 61(2), 10. 1128/aac.01343-01316. <https://doi.org/10.1128/aac.01343-16>
- Shahab, M., & Shahab, N. (2022). Coevolution of the human host and gut microbiome: Metagenomics of microbiota. *Cureus*, 14(6).
- Suclupe-Campos, D.-O., & Aguilar-Gamboa, F.-R. (2020). Persistencia bacteriana: Un fenotipo celular de importancia clínica en infecciones crónicas y recurrentes. *Horizonte Médico (Lima)*, 20(1), 77-87.
- Torres-Barceló, C., Arias-Sánchez, F. I., Vasse, M., Ramsayer, J., Kaltz, O., & Hochberg, M. E. (2014). A window of opportunity to control the bacterial pathogen *Pseudomonas aeruginosa* combining antibiotics and phages. *PloS One*, 9(9), e106628.

- Vm, L., Garcidueñas-Piña, C., González, F., M., R., & Guerrero-Barrera, A. (2008). Las biopelículas, estrategia de resistencia y ataque para la patogénesis bacteriana. *Scientiae Naturae*, 10, 5-15.
- Windels, E. M., Michiels, J. E., Fauvart, M., Wenseleers, T., Van den Bergh, B., & Michiels, J. (2019). Bacterial persistence promotes the evolution of antibiotic resistance by increasing survival and mutation rates. *The ISME Journal*, 13(5), 1239-1251. <https://doi.org/10.1038/s41396-019-0344-9>
- Yang, N., Teng, D., Mao, R., Hao, Y., Wang, X., Wang, Z.,... & Wang, J. (2019). A recombinant fungal defensin-like peptide-P2 combats multidrug-resistant *Staphylococcus aureus* and biofilms. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 103(13), 5193-5213. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-09785-0>
- Zabaloy, M. C. (2021). *Una sola salud: La salud del suelo y su vínculo con la salud humana*.
- Zhang, Y.-J., Li, S., Gan, R.-Y., Zhou, T., Xu, D.-P., & Li, H.-B. (2015). Impacts of Gut Bacteria on Human Health and Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, 16(4), 7493-7519.

¿En qué consiste la naturaleza jurídica de los derechos de personalidad?

SILVANO DE LA TORRE BARBA*
MARÍA TERESA GÓMEZ GONZÁLEZ*

Resumen

Los derechos de personalidad están dirigidos a proteger la integridad personal del ser humano, tanto en su vertiente física (vida, integridad física), como espiritual (honor, intimidad, imagen, identidad), por lo tanto, constituyen una medida preventiva en dos sentidos: primero, para que los integrantes de la sociedad sepan de los derechos que poseen, y segundo, la obligación de terceros para respetarlos y que conozcan las consecuencias que surgen en caso de transgredirlos. La fuente de los derechos de la personalidad es la ética, entendida ésta como una ciencia filosófica de la moral. Algunas concepciones claras de este tipo de derechos se identifican como el derecho a la vida y el derecho a la integridad física, a las partes individuales del cuerpo humano y el derecho al cadáver humano, así como a la libertad sexual, al honor y a la intimidad, el derecho a la imagen, el derecho al secreto (de correspondencia, documental, profesional, doméstico). Los derechos de la personalidad son conocidos también como derechos personalísimos, su acción proteccionista y reguladora corresponde al derecho civil, al derecho privado, por tratarse de situaciones o condiciones que se generan de persona a persona, donde aparece la figura jurídica del daño moral.

* Universidad de Guadalajara.

Introducción

Conforme pasa el tiempo, los derechos de los seres humanos se van adecuando a la dinámica natural evolutiva, respondiendo a las necesidades de la vida social y a las propias del individuo. Hablar de los derechos de personalidad, no únicamente refiere a la identificación de los atributos reconocidos y tutelados por el Estado, también se trata de difundir y dar seguimiento a las tendencias legales que impactan en la actualidad, resultado de las exigencias de quienes conforman la colectividad, razones por las que el sistema jurídico mexicano se ve en la necesidad de apoyar y promover a través de reformas legales, las facultades y privilegios que todos deben disfrutar como resultado de la transformación y el cambio social.

Sin duda, la transformación a que se hace referencia se logra atendiendo a las necesidades de una sociedad cambiante, dispuesta a exigir sus derechos y capaz de cumplir con sus obligaciones.

Aunque a continuación queden identificados los derechos de personalidad, sus características y elementos, se hará hincapié en el derecho que tenemos todas las personas físicas al cambio de nombre acorde con la identidad de género; por lo tanto, el abordaje se hará a través del nombre, ese rasgo distintivo de los seres humanos que los hace identificarse y diferenciarse de los demás, el que está compuesto por un nombre propio o nombre de pila y los apellidos de los progenitores o padres.

Como resultado de esta aproximación a los derechos de personalidad, se dará a conocer el procedimiento para llevar a cabo el cambio de nombre en aquellos casos en que, por cuestiones de identidad de género, el individuo quiera ser identificado y reconocido con otro nombre de pila o nombre propio al que inicialmente se le asignó o por el que optó.

Los derechos de personalidad

Debido a que en México cada entidad federativa tiene su propio Código Civil, para Jalisco es importante que se identifique cuál es el espíritu de los derechos de personalidad, estableciendo que “[...] tutelan y protegen el disfrute que tiene el ser humano, como integrante de un contexto social, en sus distintos atributos, esencia y cualidades, con motivo de sus interrelaciones con otras personas y frente al Estado” (Código Civil del Estado de Jalisco, 2024: 3).

De lo anterior se debe deducir que son facultades que todos tenemos, y que son reconocidas por el Estado, primero en nuestra Carta Magna, después, en la legislación local, mismas que tienen un propósito específico, consistente en proporcionar certeza jurídica o garantía legal respecto a las relaciones que mantenemos con los demás, o que los demás mantienen con nosotros, y a las que sostenemos frente al órgano regulador de gobierno, propiciando que la convivencia sea armónica, respetuosa, y permanezca dentro del marco de la legalidad.

Y ya que la fuente principal de los derechos de la personalidad es la ética, es el Estado quien ha tenido que determinar que una ciencia filosófica de la moral, precisada como una norma moral, se traduzca en una norma jurídica, proceso que se lleva a cabo a través de la identificación de la necesidad social, sometida a la consideración y aprobación del Poder Legislativo, en una norma jurídica o ley vigente y actual, propiciando que el derecho se oriente hacia valores éticos particulares, pero con un sentido especial, el normativo jurídico (Siches, 1999).

Definitivamente la estructura social ha cambiado, sin duda con mayor rapidez que el establecimiento de la norma, por lo que hoy podemos distinguir grandes cambios, uno de los que parece más relevante actualmente se consolida en la posibilidad de cambiar el nombre de los individuos que por cuestiones de ideología de género, no se identifican con aquel que previamente se les había otorgado, dando como resultado que no se ven identificados con quienes quieren ser, ni cómo desean ser tratados en sociedad, acciones que ahora se pueden resolver jurídicamente haciendo uso de esa garantía de la que hemos venido hablando, los derechos de personalidad.

Que importante resulta entonces el hecho de que una persona física pueda tener la certeza de verse identificada por quien realmente cree que es, incluso que pueda solicitar al Estado que en ejercicio de sus derechos civiles, le permitan y faciliten el otorgamiento de los medios legales y administrativos que la hagan sentirse parte de una sociedad, a la que desde luego ya pertenece, pero con ciertas frustraciones, debido a que se le otorgó un nombre propio del que no da cuenta y razón su desarrollo integral.

Principales derechos de personalidad

a) *La vida*

El primero de los derechos de personalidad que tutela y protege el Estado, es sin duda la vida, definida según el contexto en el que se aborde. Jurídicamente constituye el inicio de derechos y la protección que se le otorga a una persona física o ser humano, dándole el reconocimiento que la ley señala como parte de la sociedad. Si se conceptualiza la vida biológica, entonces estaremos ante la presencia del surgimiento de un organismo procreado por humanos, con capacidad de responder a estímulos externos y que se puede reproducir, entre otras características.

Si se observa la vida como bien jurídico, a través del paso de los años ha sido relativizada; su valor, sin duda, ha cambiado, se ha ido adaptando a los aspectos territoriales de la convivencia humana y su transformación histórica es inminente, razones que han propiciado la pretensión de proteger los derechos humanos desde una visión universalista; sin duda los cambios han sido significativos, a favor o en contra, aunque parece que todavía en la actualidad se vislumbran algunos pueblos y comunidades que carecen de esta acción proteccionista, debido a la cantidad de limitaciones que enfrentan al respecto (Bartolomé, 2020).

b) *La integridad física y psíquica*

Otro de los derechos de personalidad de los seres humanos consiste en garantizar la integridad física y psíquica. El Estado debe generar las condiciones que contribuyan a que los integrantes de la sociedad puedan ejercer sus funciones, desde las más habituales, hasta las más complejas, con la certeza de que hay un sistema que los soporta, que se encarga de su salud integral, de sus limitaciones físicas en caso de existir por cualquier causa, procurando que sean individuos que puedan realizarse y contribuir socialmente a la colectividad, desarrollándose en un ambiente libre de enfermedades, padecimientos o lesiones que impidan su progreso.

En este mismo sentido, todas las políticas públicas deben estar encauzadas a vigilar y contribuir con los gobernados, para que no únicamente gocen de condiciones de salud física, sino también psíquica o mental, en el entendido de que esta condición del ser humano tiene implícito un sistema emocional, lo que

infiere que el desarrollo integral al que se hace referencia se vea representado por un equilibrio en cuanto a emociones, sensaciones y sentimientos, con la certeza de que sus miembros puedan adaptarse con facilidad a situaciones consideradas difíciles de sostener, siendo éste un medio para la satisfacción de los intereses humanos (Enneccerus, 2022).

c) De los afectos, sentimientos y creencias

Son derechos de personalidad que también vigila y tutela la Nación. Si nos referimos a los sentimientos, debemos tener absoluta claridad que nos referimos al estado emocional, representado por ira, tristeza, miedo, entre otros; debemos considerar que forman parte de nuestra integralidad y que constituyen un sistema de impulso al que reaccionamos, ya sea de manera espontánea o automática o debido a situaciones a las que nos enfrentamos; por lo tanto, deben ser atendidos con mucha cautela pues constituyen nuestro carácter.

La regulación de los sentimientos y de las creencias tiene como fuente principal el pensamiento, pudiendo asegurar que las emociones regulan los pensamientos, aunque podemos estar hablando de la misma postura y al mismo nivel, es decir, ambos son considerados esenciales para relacionarnos con los demás y lograr la convivencia; sin embargo, independientemente cuál entre primero en nuestra estructura mental, debemos tener control para lograr el dominio e identificar al que deba posicionarse primero ante las circunstancias y situaciones de la vida diaria. Este estado de conciencia moral autónoma es el ideal para que todos logremos relacionarnos armónicamente (Koberski, 2022).

d) El honor y la reputación

Siguiendo con los demás derechos de personalidad, se utilizan como sinónimo dos conceptos, el honor y la reputación; sin embargo, debemos dejar clara su diferencia, ya que el honor tiene que ver más con una cualidad ética, incluso moral de las personas físicas, mientras que la reputación refiere a una condición externa, lo que significa es que se construye con base en la percepción que los demás tienen de nosotros, son elementos meramente subjetivos, difíciles de probar, altamente manipulables, por lo tanto puede diferir de lo que pensamos de nosotros mismos. Al respecto, la legislación civil de Jalisco establece que no se debe constituir como un fin, bajo ninguna circunstancia, tener que hacer

manifestaciones públicas o privadas, incluso demostraciones, si éstas causan ofensa, afrenta o descrédito.

La exposición de motivos que impulsa a los legisladores a establecer condiciones, por medio de las cuales el honor y la reputación de un ser humano no se vulneren, atiende a circunstancias de fondo, principalmente bajo tres vertientes: la cognitiva, el estado físico y la condición psicosocial de los individuos integrantes de un núcleo social. Los expertos argumentan que, en el desarrollo de todos, están integrados elementos como el pensamiento, las emociones, el razonamiento y por supuesto la interrelación social, por lo que debe asumirse que lo que pensamos de nosotros y lo que los demás creen sí influye en el ejercicio de la personalidad (Papalia y Martorell, 2021).

e) El nombre y en su caso el seudónimo

Los derechos de personalidad señalan que todas las personas físicas están facultadas para tener un nombre y, en las condiciones que la ley lo establezca, como es el caso del derecho de autor; también podrá hacer uso de un seudónimo, si así lo decide.

Las legislaciones actuales atienden a otras circunstancias derivadas del nombre, como el hecho de que es representativo de un género o de una ideología de género, y que quienes lo portan en muchas ocasiones no se ven representados por aquel que eligieron quienes lo hicieron por ellos, llámense padres o tutores. Otro de los aspectos actuales respecto al nombre tiene su concepción en dos de sus principales elementos, es decir, los apellidos, ya que debido a la estructura patriarcal a la que pertenecemos y en la que nos hemos desarrollado, se precisa que en primer término se deba colocar el apellido del padre o progenitor, en segundo lugar el de la madre; estructura que se ha ido modificando con el tiempo y que hoy admite otras variantes que incluso nos dan la posibilidad de elegir si se quiere que el primer apellido sea el de la madre.

Definitivamente debemos reconocer que el nombre identifica quién es el titular de los demás derechos y de las obligaciones adquiridas, lo que no significa que es el derecho más importante, ya que todos los derechos de personalidad lo son y trascienden a la par de su titular; por lo tanto, no sólo se trata del elemento identificativo de la persona, sino que también deriva en todas sus demás facultades (Buenrostro y Baqueiro, 2021).

El derecho al reconocimiento de la identidad de género, en la actualidad es parte fundamental de la realidad social, se hace necesario que las personas conozcan este derecho, reciban la información pertinente y hagan valer sus derechos si así lo desean, debido a que esta facultad guarda una evidente conexión con la libertad y dignidad de las personas. Por lo que con base en el derecho a la identidad reconocido en el artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, es que las y los mexicanos pueden gozar de esta prerrogativa (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, 2024).

En el mismo sentido, la Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación, establece medidas proteccionistas, aunque es una ley federal, está alineada a los criterios del Código Civil del Estado de Jalisco, promoviendo la igualdad, protegiendo los derechos humanos, fomenta en todo momento la inclusión, genera la participación al involucrar a la sociedad en general, incluyendo a las organizaciones de la sociedad civil, en la lucha contra la discriminación y la promoción de la igualdad. Se asegura que todas las personas en México tengan igualdad de oportunidades y de trato, sin importar su origen étnico o nacional, género, edad, discapacidad, condición social, condiciones de salud, religión, opiniones, preferencias sexuales, estado civil o cualquier otra condición, además de que sanciona la discriminación (Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación, 2024).

La Ley del Registro Civil del Estado de Jalisco y su artículo 3º, es enfática al prohibir y crear mecanismos para evitar la discriminación, no solamente entre sus funcionarios, sino respecto a cualquier persona, debido a que el estado de Jalisco es uno de los principales promotores de la igualdad y la no discriminación, generando condiciones para que todos sean recibidos y tratados en igualdad de condiciones, sin importar su origen, etnia, orientación sexual, género o las demás características que lo definan (Ley del Registro Civil del Estado de Jalisco, 2024).

Derivado de lo anterior, se establece el procedimiento a seguir en Jalisco, previsto en el artículo 38 del Reglamento del Registro Civil, para el reconocimiento de la identidad de género.

Para el levantamiento de una nueva acta de nacimiento para el reconocimiento de identidad de género, con fundamento en los preceptos ya señalados y conforme al procedimiento detallado a continuación, toda persona tiene derecho al cambio de nombre acorde con su identidad de género y debe cumplir con los siguientes requisitos:

- a. Las personas interesadas deberán ser de nacionalidad mexicana y tener acta de nacimiento registrada en cualquier estado de la República Mexicana.
- b. Presentarán en la Oficialía del Registro Civil solicitud de modificación de datos personales contenidos en su acta del estado civil, conforme a la identidad de género autopercebido, adjuntando la siguiente documentación: solicitud por escrito mediante el formato expedido por la Oficialía del Registro Civil, misma que deberá estar firmada por la persona interesada en modificar sus datos personales y en la que exprese: que es su voluntad querer modificar sus datos personales de las actas del estado civil, comparece en forma libre a solicitar la modificación de su nombre y sexo, se encuentra debidamente informada de la trascendencia y alcances del trámite administrativo que solicita, otorga su consentimiento para que se haga la modificación necesaria de sus datos personales y nombre completo asentado en el acta primigenia, nombre solicitado sin apellidos, género asentado en el acta primigenia, género solicitado y estado civil.
- c. Deberá acompañar copia certificada del acta de nacimiento primigenia para efecto de que se haga la reserva correspondiente, original y copia fotostática de cualquier documento de identificación.

La Oficialía del Registro Civil analizará si la solicitud reúne los requisitos señalados en el Reglamento y, en caso de ser así, dictará resolución administrativa dentro de la cual ordenará, en forma inmediata, la expedición de una nueva acta de nacimiento de conformidad con los requisitos establecidos en el artículo 42 de la Ley del Registro Civil del Estado.

El acta no deberá mostrar evidencia del reconocimiento de la identidad de género, por lo que la Oficialía del Registro Civil ordenará en su resolución se giren oficios a la Secretaría de Gobernación del Gobierno Federal para los efectos conducentes al Registro Nacional de Población. De igual forma, se girará oficio a la Secretaría de Hacienda y Crédito Público, Secretaría de Educación Pública, Secretaría de Salud, Secretaría de Relaciones Exteriores, Instituto Nacional Electoral, Fiscalía General de la República, Centro Nacional de Información del Sistema Nacional y al Consejo de la Judicatura Federal, para que realicen las anotaciones que correspondan. Asimismo, se remitirán oficios al Supremo Tribunal de Justicia del estado y a las dependencias estatales homólogas a las antes señaladas, según corresponda.

Todas las notificaciones que se realicen deben mantener los estándares de confidencialidad, por lo que el acta de nacimiento primigenia, así como las demás actas del estado civil que hubieren sido modificadas, quedarán reservadas en cuanto a la modificación y no se publicará ni expedirá constancia alguna, salvo mandamiento judicial, petición ministerial o por los supuestos señalados por el artículo 42 del Reglamento del Registro Civil del Estado de Jalisco.

El Registro Civil expedirá copia de la resolución que determinó el cambio en el acta del estado civil, previa solicitud por escrito de la persona que solicitó la modificación. De la misma manera, se expedirá copia de la resolución que determinó el cambio en el acta del estado civil en favor de aquellas personas que acrediten tener un interés jurídico con las constancias correspondientes, previa solicitud por escrito, y en el caso de las personas que tengan menos de 18 años de edad cumplidos al momento de iniciar el trámite, además deberán presentar escrito de quien ejerza la patria potestad o tutor, en el que exprese su consentimiento para la modificación.

Si el solicitante es menor de edad, podrá un solo padre o madre o tutor autorizar que se realice el trámite de cambio de identidad y tendrá que declarar por escrito el motivo de la ausencia del otro padre responsable. Es de gran importancia destacar que Jalisco y Oaxaca son los únicos estados que incluyen a menores de edad como parte de quienes pueden acceder a cambiar su identidad de género (Reglamento del Registro Civil del Estado de Jalisco, 2024).

f) La presencia física

La presencia física es considerada uno de los derechos de personalidad, debido a los elementos que la conforman, ya que cada uno de ellos contribuye a la individualización de la persona física y, por lo tanto, le ofrece elementos de introspección, autoconocimiento, autorregulación, seguridad propia, proyección y valor ante los demás.

g) Secreto epistolar de la información

Mantener secreto y sigilo de la información escrita de terceros es un derecho de la personalidad, que se ha conocido comúnmente como secreto epistolar, incluye varios factores de la titularidad de las personas físicas, como el acceso a los medios y sistemas de comunicación propios o de otros, sus medios de

contacto como el telefónico, el acceso a su información personal, sus correos o redes sociales.

h) De la vida privada y familiar

Todos tenemos derecho a tener una vida privada y familiar, ésta ha sido la exigencia más actual; parece que la privacidad se va quedando cada vez más en desuso, primero en los noventa fue el auge de la Internet lo que creó un caos respecto a la privacidad en general, lo que por supuesto repercutió en la vida de las personas; posteriormente, el Big Data, que cuantificó los sistemas y redes y se convirtió en un sistema que como premisa principal, señala que entre más datos se obtienen, mejor resultado se adquiere, dejando a la privacidad en términos todavía más endeble; además, surge la inteligencia artificial, al alcance de todos, pasando desde luego por la internet de las cosas, hasta la creación de resultados que no son propios y de imágenes y conceptos que reproducen lo de otros como si fueran de su completa autoría. Es en este sentido que la legislación y los sistemas jurídicos deben seguir avanzando, la pretensión sería que lo hicieran a mayor velocidad que las tecnologías, sin que se haya podido ello lograr (Cazurro, 2020).

Conclusiones

Cuando escuchamos que se trata de los derechos de personalidad, parece que es un tema que solamente refiere al reconocimiento que hace el Estado de la persona humana, al diferenciarla de la persona jurídica o moral, y que todo gira en relación con la obligación que tiene el gobierno respecto del gobernado, pero a través del desarrollo de este trabajo nos damos cuenta de que esos fundamentos iniciales se han modificado, y que detrás está el requerimiento social, pero también el cumplimiento de quienes nos representan en las cámaras, por eso es sumamente importante que redefinamos y redireccionamos esas facultades de los seres humanos que hoy nos ocupan.

Además de dar cuenta y razón de nuestros derechos como personas físicas, es totalmente trascendente que se respete la identidad de género de los seres humanos, quienes pueden exigir a las instituciones el reconocimiento de un nombre que realmente los haga sentirse identificados e incluidos en una sociedad cada vez más cambiante, quienes también pueden sentirse seguros debido

a las condiciones legales creadas para que no sólo hagan uso de este derecho, sino que además no sean discriminadas por ninguna condición a la que tengan derecho, llámese afectos, sentimientos, privacidad, o la condición principal a que hacemos referencia, es decir, el cambio de nombre por cuestiones de identidad de género, bajo la protección y salvaguarda del Estado.

Lecturas recomendadas

- Bartolomé Cenzano, J. (2020). *El derecho a la vida: Nuevos retos jurídicos para su disfrute con dignidad y sostenibilidad en tiempos de crisis*. Dykinson, S. L.
- Buenrostro Báez, R., y Baqueiro Rojas, E (2021). *Derecho civil. Introducción y personas*. Dikaia.
- Cazurro Barahona, V. (2020). *Antecedentes y fundamentos del derecho a la protección de datos*. Bosch Editor.
- Enneccerus, L. (2022). *Derecho civil. Parte general*. Ediciones Olejnik.
- Gobierno de Jalisco. (1996, octubre 31). *Reglamento del Registro Civil del Estado de Jalisco de 2024. Procedimiento para el levantamiento de una nueva acta de nacimiento a efecto del reconocimiento de identidad de género*, 01 de julio de 2024.
- Gobierno de Jalisco. (2024a). *Ley del Registro Civil del Estado de Jalisco de 2024. Para evitar la discriminación*, 15 de julio de 2024.
- . (2024b). De los derechos de personalidad. Artículos 24 al 40, 15 de julio de 2024. *Código Civil del Estado de Jalisco (CCEJ)*. México.
- Koberski, M. (2022). *El conocimiento emocional y la investigación científica. Nexos y praxis*. Brujas/Encuentro Grupo Editor.
- Papalia, D., y Martorell, G. (2021). *Desarrollo humano*. Ciudad de México: Universidad Iberoamericana.
- Poder Legislativo Federal. (2003, junio 11). *Ley Federal para Prevenir y Eliminar la Discriminación de 2024. Por la cual se promueven condiciones de libertad e igualdad de las personas*, 01 de abril de 2024.
- . (s/f). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Artículo 4, 15 de julio de 2024. México.
- Recasens Siches, L. (1999). *Tratado general de filosofía del derecho*. Porrúa.

¿Por qué es alarmante la violencia en el noviazgo?

IRENE MARGARITA ESPINOSA PARRA*

Un signo seguro e inconfundible del amor es la apreciación de la especificidad y unicidad del otro.

Alberoni, 1979: 22.

¿Qué es el noviazgo?

El noviazgo es una etapa decisiva en la vida de muchas personas, representa un periodo de conocimiento mutuo y autoexploración, con la oportunidad de compartir experiencias significativas, aprender a enfrentar conflictos y consolidar vínculos emocionales profundos. Desde una perspectiva sociocultural, las parejas son influenciadas por las dinámicas culturales, costumbres, normas, valores, expectativas familiares y sociales en las que se establecen roles de género. Estos factores pueden llegar a determinar el tipo de relación y la forma de comunicación que se desarrolla entre los integrantes de la pareja.

El noviazgo es una etapa importante que experimentan las personas en momentos y contextos específicos. Tiene diferentes tiempos de duración y formas de vivirse, representa una etapa de transición entre distintos ciclos de vida, como la adolescencia, la juventud y la adultez (Aldeas infantiles, 2023). En la etapa del desarrollo de

* Universidad Autónoma de Nayarit. Correo electrónico: irene.parra@uan.edu.mx

la adolescencia, los noviazgos pueden llegar a convertirse en uno de los principales recursos de apoyo social, contribuyendo al bienestar psicosocial y al manejo de situaciones dolorosas o estresantes, por lo que el establecimiento de relaciones íntimas desempeña un papel significativo en el desarrollo socioemocional, favoreciendo la salud física y mental (González-Lozano *et al.*, 2015).

Algunas investigaciones destacan que las relaciones de noviazgo en la adolescencia son esenciales para el aprendizaje de las habilidades para la vida adulta. Furman y Shaffer (2003, como se citó en González-Lozano *et al.*, 2015) refieren que el noviazgo adolescente impacta en el “desarrollo de la identidad, en el desarrollo de la sexualidad, en la transformación de las relaciones familiares, en el desarrollo de las relaciones de intimidad con los pares y en los logros académicos” (p. 15). Son en estos primeros noviazgos donde lo(a)s adolescentes y jóvenes comienzan a desarrollar sus primeras expectativas sobre las relaciones de pareja, empezando a construir sus propias representaciones.

El sociólogo y periodista italiano Francesco Alberoni, conocido por sus estudios sobre las dinámicas del amor, el enamoramiento y el comportamiento colectivo, define el enamoramiento como “un estado de movimiento colectivo en el que dos personas, al encontrarse, crean una nueva entidad, una pareja”. Asimismo, menciona que en la actualidad idealizamos el amor, deseando un amor “perfecto, continuo y estático”. En realidad, lo que se busca es mantener la fase del enamoramiento, sin reconocer que esta etapa, aunque crucial, es pasajera. Esto genera expectativas poco realistas y como consecuencia, desilusiones que pueden llevar a la depresión o a manifestar conductas agresivas (Alberoni, 1979: 37).

En este sentido, no todas las relaciones de noviazgo se desarrollan de manera sana. En algunos casos las expectativas poco realistas pueden dar paso a dinámicas de poder y control que se manifiestan de manera sutil o evidente. Esto puede reflejarse en situaciones de violencia en el noviazgo, perpetuando el ciclo de abuso y dominación.

Generalmente las relaciones de noviazgo inician a edad muy temprana, usualmente durante la adolescencia. En este periodo las emociones pueden ser difíciles de manejar, lo que puede provocar inestabilidad, conflicto e incluso algún tipo de violencia. No obstante, el intercambio de sentimientos y emociones puede llevar tanto a un noviazgo estable y saludable, como a una relación problemática y disfuncional.

La violencia en el noviazgo se ha convertido en un problema de salud pública, con una preocupante prevalencia en México. Este fenómeno ha afectado principalmente a lo(a)s adolescentes y jóvenes, quienes presentan tasas alarmantemente altas de experiencias violentas en sus relaciones de pareja; este tipo de violencia puede manifestarse de diversas formas, incluyendo el abuso físico, psicológico y sexual, con consecuencias graves para el bienestar emocional y físico de quienes lo viven, afectando también su capacidad para establecer relaciones saludables en el futuro.

La Organización Mundial de la Salud hace referencia a la violencia de pareja o *dating violence* (término de la literatura anglosajona), como aquellos comportamientos de una pareja o ex pareja que ocasionan maltrato psicológico, coacción sexual, agresiones físicas y conductas de control (OMS, 2021). A lo largo de sus vidas, tanto hombres como mujeres se enfrentan a situaciones violentas que varían según su contexto familiar, social, cultural y especialmente por su género. La OMS informó en 2020 que el 30% de lo(a)s adolescentes podrían estar sufriendo violencia en el noviazgo. Estos datos y los estudios sobre violencia, en particular la que ocurre durante el noviazgo, se han convertido en temas prioritarios (Gobierno de México, 2019).

Tipos de violencia: cuando el amor duele

La violencia en el noviazgo se incluye dentro de los tipos de violencia interpersonal, esta violencia no siempre es evidente y puede presentarse de muchas maneras, desde agresiones físicas hasta comportamientos poco visibles que pueden confundirse con muestras de protección, trayendo consigo un fuerte impacto en la salud emocional como la manipulación o el control en diferentes aspectos de la vida.

Algunos datos importantes a considerar respecto a la violencia en el noviazgo adolescente es que debido a la etapa de vida en la que se encuentran, lo(a)s adolescentes tienen poca experiencia en relaciones amorosas, esto puede dificultar que vean las señales tempranas de una relación abusiva, percibiéndolas como normales en la etapa del enamoramiento, así como algunas omisiones o acciones que se enmascaran en “nombre del amor”, como los celos, el control y la dominación. Esto se ve reflejado en las restricciones de los espacios personales.

Otra característica de esta etapa es la influencia que muestran por las normas de su grupo de amigo(a)s, quedándose en relaciones abusivas por la presión de los compañeros(a)s o por miedo a las consecuencias sociales de terminar la relación. Por otra parte, actualmente la tecnología tiene también una gran influencia en la vida de mucho(a)s adolescentes, ampliando el alcance e impacto de la violencia, como el ciberacoso, difusión de contenidos íntimos, control y vigilancia constante, entre otros (Murray *et al.*, 2016; Ramos, 2024).

Jaen-Cortés (2022) menciona que la violencia en el noviazgo no sólo es un problema social por el desgaste emocional y las implicaciones que conlleva, sino también una cuestión de salud pública debido al alto número de casos y las graves consecuencias que genera en los individuos. La autora refiere que sólo entre el 4 y el 10% de los jóvenes se atreven a denunciar la violencia en sus relaciones de noviazgo. Las consecuencias de estas agresiones pueden ser graves y variadas: físicamente, aumentan las probabilidades de suicidio o feminicidio; psicológicamente, afectan el funcionamiento mental y el comportamiento de las víctimas.

A continuación se describen los principales tipos de violencia que pueden surgir en una relación de noviazgo.

Violencia psicológica

La violencia psicológica es de las más difíciles de detectar, afecta a la persona y a su entorno social, incluye cualquier acción, comportamiento u omisión intencionada que dañe la estabilidad emocional y/o mental de la persona. Esta forma de violencia produce sufrimiento y es una medida de control sobre la víctima. Algunos ejemplos que pueden experimentar lo(a)s adolescentes son:

Burlas acerca de la apariencia, los gustos, las aficiones, las opiniones, además de insultos, descalificaciones, comentarios hirientes de manera frecuente, controlar con quién se comunica o pasa tiempo la pareja, exigir conocer las contraseñas de redes sociales y móviles, revisar mensajes sin consentimiento, prohibir amistades y/o que se relacione con familiares, celos excesivos sin razón aparente, minimizar los logros y éxitos de la pareja, amenazar con terminar la relación, utilizar las autolesiones o intentos de suicidio para manipular a la pareja, invalidar las emociones, negar hechos o crear confusión para que dude de la percepción de la realidad (Jiménez y López, 2020; Poalacín y Bermúdez, 2023).

Violencia física

Se refiere al uso de la fuerza para intimidar, controlar, causar daño o forzar a la persona a hacer algo en contra de su voluntad, atentando contra su integridad física. Este tipo de violencia puede manifestarse de diferentes maneras, desde acciones que dejan marcas visibles en el cuerpo, hasta aquellas que no dejan evidencia física inmediata.

Algunos ejemplos de violencia física en el noviazgo son los golpes, pegar a la pareja con las manos o con objetos, mordeduras, rasguños, nalgadas, cachetadas, jalones o empujones, intentos de estrangulación, torturas, quemaduras, heridas con algún tipo de arma poniendo en riesgo la vida.

El riesgo de la violencia física radica en que las agresiones en la dinámica de la pareja pueden intensificarse con el tiempo, incrementando el riesgo de sufrir lesiones e incluso la muerte.

Violencia sexual

Implica comportamientos de acción u omisión de cualquier acto sexual no consentido, desde tocamientos no deseados cuyas formas de expresión inducen a la realización de prácticas sexuales no consensuadas, hasta la violación. Esta forma de violencia deja graves secuelas, es especialmente traumática y puede tener consecuencias físicas y psicológicas (Sosa y Menkes, 2016).

Algunos ejemplos son presionar a la pareja para tener relaciones sexuales (coerción), el abuso sexual que implica realizar actos sexuales sin el consentimiento de la pareja, la intimidación sexual utilizando la amenaza o intimidación para obtener favores sexuales.

Violencia económica

“¿Cómo y en qué gastas el dinero?” Es una pregunta que refleja la violencia económica, la cual ocurre cuando una persona controla, restringe o limita los recursos financieros de su pareja, afectando su autonomía y capacidad para tomar decisiones (Córdova, 2017).

Algunas de las señales más comunes en el noviazgo son el control absoluto del dinero, se exige conocer en qué se gasta la pareja el dinero, se pueden tomar decisiones unilaterales sobre el uso del dinero sin consultar a la pareja, se

prohíbe que tenga ingresos propios o acceda a un empleo, forzar a que asuma los gastos sin contribuciones equitativas, control de gastos para las necesidades básicas y castigos financieros cuando no se cumplen las necesidades o demandas de la pareja.

La violencia económica puede afectar significativamente la autonomía y el bienestar de una persona en la relación de noviazgo.

Violencia digital

¿Has escuchado hablar del *ciberbullying*, *sexting*, *stalked*, *grooming*, *shaming* y el *doxing*? Lo(a)s adolescentes y jóvenes son particularmente vulnerables a estas formas de acoso y violencia en línea. La violencia digital incluye el uso de tecnologías de la información y la comunicación para acosar, controlar o humillar a la pareja.

Pedro empieza a recibir mensajes hostiles, discriminatorios y agresivos o se ve excluido de grupos en redes sociales debido a conflictos en su relación de pareja, a esto se le conoce como *“ciberbullying”*.

Laura envía fotografías de contenido íntimo a su pareja bajo presión, y estas imágenes son compartidas sin su consentimiento, nos encontramos con una situación de *“sexting”*.

César, ex novio de Sofía, sigue monitoreando sus publicaciones, ubicación y mensajes en redes sociales, incluso después de la ruptura. Seguir y espiar a alguien sin su consentimiento se conoce como *“stalking”*.

Ximena fue contactada por redes sociales por una persona que decía tener su misma edad, lo describió agradable, atento, bien parecido. Poco a poco, Ximena pasaba más tiempo en línea platicando con él, hasta el punto de abandonar sus actividades habituales. Un día este chico la invitó a salir, ella acudió al punto de encuentro. Desafortunadamente Ximena fue secuestrada y obligada a prostituirse, hasta que fue rescatada. Éste es un ejemplo de una situación de *“grooming”*.

Javier está muy enojado con su ex novia porque decidió terminar la relación y sospecha que quiere iniciar una nueva relación con alguien más. En venganza, publica en redes sociales fotografías y realiza comentarios para avergonzarla y ridiculizarla. A esto se le conoce como *“shaming”*.

Mateo tuvo una discusión con Valeria y como represalia, Mateo compartió el número y domicilio de ella en redes sociales; ahora Valeria está siendo acosada y no entiende por qué. Esto es conocido como *“doxing”*.

Además de estas diversas manifestaciones de la violencia digital, cada vez es más común monitorear y controlar las actividades de las redes sociales de la pareja. Sin embargo, debido a que no se reconoce como violencia, lo(a)s adolescentes y jóvenes corren un riesgo constante de experimentarla. Por esta razón, la violencia en el noviazgo es un problema que es necesario visibilizar, ya que en los peores casos puede terminar en feminicidio (Calderón, 2019).

El feminicidio es una manifestación grave de la violencia de género en la que la pareja o ex pareja le arrebató la vida a la mujer como resultado de un ciclo de abusos. Las estadísticas y estudios realizados en diferentes contextos, muestran que la violencia en el noviazgo afecta principalmente a las mujeres en comparación con los hombres, siendo más propensas a experimentar formas graves de violencia.

El monitoreo realizado por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos (CNDH, 2020) a través de la Ley General de Acceso a las Mujeres a una Vida Libre de Violencia en México, identifica 23 tipos y modalidades de violencia contra las mujeres.

Violencia sexual, psicológica o psicoemocional, física, patrimonial, económica, familiar o doméstica, en la comunidad o violencia social, laboral e institucional o de servidores públicos, la violencia feminicida y política; violencia obstétrica; la cibernética, la mediática o publicitaria, la de pareja o en el noviazgo y escolar, la violencia en contra de los derechos reproductivos, la violencia de género y simbólica, la violencia moral y por acoso, y, por último, la violencia en el espacio público (CNDH, 2020: 2).

Según los datos de la Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares (ENDIREH), realizada entre octubre 2020 y octubre 2021 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2022) a nivel nacional, el 70.1% del total de mujeres de 15 años y más han experimentado al menos una situación de violencia a lo largo de su vida, y 42.8% en los últimos 12 meses de cuando fueron encuestadas. Además, los datos de esa encuesta arrojaron que la violencia psicológica es la más prevalente experimentada a lo largo de la vida y también en los últimos 12 meses (51.6 y 29.4%, respectivamente), seguida de la violencia sexual (49.7 y 23.3%), la violencia física (34.7 y 10.2%) y la violencia económica, patrimonial y/o discriminación (27.4 y 10.2%) (INEGI, 2022), formas de violencia que pueden llegar a ser ejercidas por cualquier persona agresora en diferentes ámbitos.

Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2021) reporta que el grupo de adolescentes y jóvenes entre 15 y 24 años constituyen el grupo con las tasas más altas de violencia en el noviazgo. Esta violencia impacta negativamente en la salud y el bienestar de las mujeres, con efectos que pueden durar mucho tiempo, e incluso toda la vida. Las afectaciones incluyen ansiedad, depresión, embarazos no deseados, lesiones físicas y enfermedades de transmisión sexual.

Es importante recordar que el noviazgo es una etapa de enamoramiento que en algunas ocasiones se considera una proyección al matrimonio. Sin embargo, los datos presentados muestran que muchas parejas experimentan diferentes tipos de violencia y que ven como normales situaciones que, en realidad, son señales de alerta ya que ponen en riesgo su salud y su vida (Gutiérrez *et al.*, 2021).

Ciclo de la violencia en el noviazgo: el círculo sin fin

Desde una mirada externa, llega a resultar complicado entender por qué alguien no pone fin a una relación violenta y suelen surgir preguntas como: ¿por qué no se va de la relación?, ¿qué mantiene a una persona en una relación violenta?, ¿está consciente de que está en una relación abusiva?, ¿por qué no se fue de ese lugar?, ¿por qué no habló a la policía?, por mencionar algunas; sin embargo, dejar una relación violenta llega a ser un proceso complicado debido a la variedad de factores que intervienen: emocionales, psicológicos, socioculturales, económicos y legales.

Por lo que, aunque pareciera que continuar con la relación o mantenerse vinculado(a) a la pareja es un acto de pasividad, en realidad representa una estrategia activa de supervivencia frente a los posibles riesgos que podría generar la separación, como el aumento de la violencia o el peligro de muerte.

Otro factor es la creencia errónea de alguno(a)s adolescentes y jóvenes de que estar en una relación conflictiva es mejor que estar solo(a)s, esto puede llevar a tolerar conductas agresivas. Además, algunas presiones sociales hacen que parezca que permanecer en una relación es esencial para sentirse bien emocionalmente, evitar la sensación de soledad y ser aceptado en el grupo (Muñiz-Rivas, 2024).

Conocer el ciclo de la violencia propuesto por la psicóloga, escritora y educadora estadounidense Leonore Walker, que publicó por primera vez en 1979

en su obra *Síndrome de la mujer maltratada*, puede ayudarnos a comprender mejor qué es lo que sucede en este tipo de relaciones. Este ciclo se caracteriza por tres fases:

- *Fase de tensión*: se da un aumento gradual de la fricción y los conflictos en la pareja, son notables las discusiones en las que pueden estar presentes los celos, las acusaciones sin fundamento, quejas sobre el tiempo que se convive con otras personas (especialmente los amigo(a)s) en lugar de con la pareja, cuestionamientos sobre el uso de redes sociales, como comentarios en publicaciones, el uso de los “me gusta” en fotografías de otras personas o el tiempo que pasa en “línea”.
- *Fase de agresión*: la tensión acumulada lleva al momento en que se hace totalmente visible la agresión, ésta puede manifestarse de diferentes maneras, como agresiones físicas, empujones, jalones y/o golpes, gritos, insultos, amenazas, publicación o amenaza constante de compartir contenido íntimo sin consentimiento, prohibir el contacto con familiares o amigo(a)s, limitando así la red de apoyo social.
- *Fase de conciliación o luna de miel*: en esta fase se suele mostrar arrepentimiento y la petición del perdón, se hacen promesas de cambio con frases como “no volverá a suceder” y muestras de afecto exagerado, con regalos y declaraciones de amor intensas, así como las justificaciones del comportamiento agresivo en la que se culpa al ambiente o a la víctima “por haberlo provocado”.

Quizás nos estemos preguntando: ¿qué pasa después de que se completa el ciclo de violencia? En muchas ocasiones las parejas enfrentan diversos problemas que pueden llevar a una ruptura, aunque ésta no siempre sea definitiva. Para lograr la reconciliación, uno de los miembros de la pareja intenta de muchas formas y estrategias volver a la relación. Este patrón de ruptura-petición de perdón es común en una relación una vez que se ha establecido el ciclo de violencia. Perpetuar el ciclo de violencia es riesgoso, debido a que los episodios de agresión pueden ir en escalada, volviéndose frecuentes y graves, empleándose nuevas formas de abuso y control.

Amor en alerta: identificando señales de riesgo y protección en el noviazgo

La comunicación digital y el lenguaje juvenil han evolucionado rápidamente. Con este cambio también ha aumentado la conciencia sobre la salud emocional y las relaciones, adoptando términos y expresiones que reflejan la realidad de sus experiencias.

Actualmente es común escuchar entre lo(a)s adolescentes y jóvenes usar términos como “*Red flags*” (señales de alerta) y “*Green flags*” (señales positivas). Estas expresiones se refieren a las alertas respecto a las situaciones de abuso o bienestar que puedan estar viviendo en sus relaciones, ayudándoles a tomar decisiones sobre con quiénes compartir su tiempo y afectos.

Las llamadas “*Red flags*” son acciones que impiden que una relación sea sana y estable; este término surgió de la cultura popular de los jóvenes y se refiere a las señales de maltrato en una relación, como controlar con quién se sale, revisar el celular, comparar a la pareja, no respetar la privacidad y temer expresar las necesidades. Estos comportamientos imposibilitarían tener una buena relación amorosa.

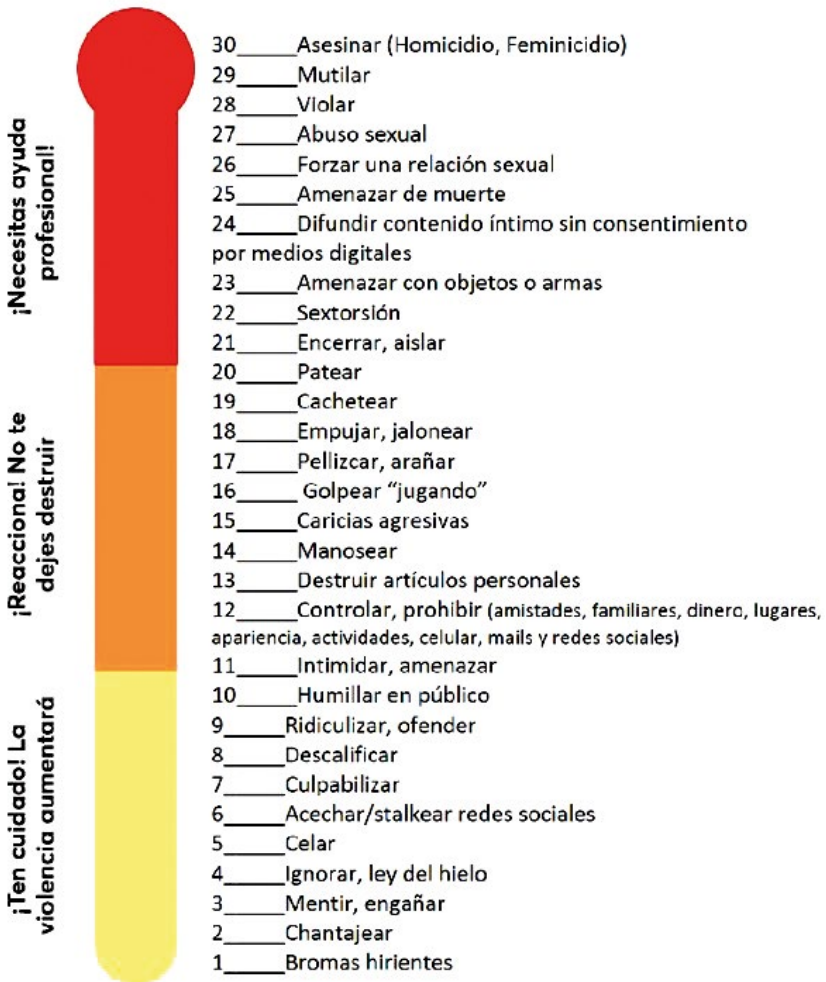
Por el contrario, las “*Green flags*” son señales de que la relación va por buen camino, incluyen una convivencia sana, comunicación respetuosa, asertividad para enfrentar los conflictos, respeto de la privacidad y las redes sociales, validación mutua de las emociones y apoyo en los logros obtenidos.

Adoptar el lenguaje juvenil permite establecer una relación inmediata y genuina con lo(a)s adolescentes, reduciendo la brecha generacional y facilitando una mayor empatía. Además de relacionar esos términos con sus propias experiencias y situaciones, los motiva a compartir lo que les ocurre.

También es importante que lo(a)s adolescentes y jóvenes conozcan las herramientas para detectar la violencia y con ello evaluar la gravedad de los comportamientos agresivos a tiempo. Una de las herramientas gráficas y educativas más difundidas es el “violentómetro”, creada por la Unidad Politécnica de Gestión con Perspectiva de Género del Instituto Politécnico Nacional (IPN) de México. Esta herramienta surgió de una investigación que se llevó a cabo con la finalidad de entender la dinámica de las relaciones de pareja entre estudiantes de entre 15 y 25 años.

El violentómetro facilita la comprensión de los tipos de violencia que manifiestan en la vida cotidiana de mujeres y hombres, ayuda a detectar señales tempranas de abuso, promueve la reflexión sobre la importancia de establecer límites y de cómo estas manifestaciones de patrón de comportamiento pueden escalar con el tiempo (Tronco y Ocaña, 2012).

Figura 3. Violentómetro



Nota: herramienta gráfica del violentómetro adaptada de los materiales del Instituto Politécnico Nacional, creado en 2009. Para una mejor visualización o su descarga, se sugiere visitar la página <https://www.ipn.mx/genero/materiales/violentometro.html>

La difusión e implementación de este tipo de herramientas es fundamental para la concientización y erradicación de las prácticas violentas, fomentar la prevención y promover la denuncia ante situaciones de abuso con la finalidad de crear entornos más seguros en general, y no únicamente en las relaciones de noviazgo.

Conclusiones

De lo anterior podemos concluir que las relaciones de noviazgo, especialmente en la adolescencia están influenciadas por diversas dinámicas socioculturales, roles de género y expectativas sociales que promueven los ciclos de violencia. No obstante, también encontramos que el noviazgo en esta etapa puede ser un factor protector, factores como la confianza, resolución de conflictos, empatía, la comunicación abierta y el apoyo mutuo ayudan a crear un entorno en el que ambos individuos pueden crecer emocionalmente y tener efectos positivos en otros ámbitos de su vida.

Es necesario que la comunidad educativa, la familia, los amigos y otros profesionales promuevan espacios libres de violencia en el noviazgo y ocupen un papel relevante en los procesos de su prevención. Así como también es importante capacitar y generar protocolos que den respuesta a la problemática.

En este sentido, se requiere crear factores de protección que ayuden tanto a individuos como a grupos de apoyo para lo(a)s adolescentes que enfrentan violencia en el noviazgo. Esto significa diseñar programas preventivos con los padres para que puedan contribuir a prevenir la violencia. También es necesario formar a lo(a)s docentes de secundaria, de educación media superior y superior para que tengan los conocimientos y estrategias necesarias para participar en acciones preventivas (Dalouh *et al.*, 2024).

Finalmente, como menciona Ramos (2024), la violencia en el noviazgo puede preceder a la violencia en el matrimonio, por eso es importante considerar que el noviazgo ofrezca una oportunidad para intervenir y prevenir la continuidad de prácticas violentas.

Lecturas recomendadas

- Alberoni, F. (1979). *Enamoramiento y amor*. Barcelona: Gedisa.
- Aldeas Infantiles sos México. (2023). *El noviazgo adolescente*. <https://www.aldeasinfantiles.org.mx/noticias/columna-sos/el-noviazgo-adolescente>
- Calderón, G. R. (2019). *Violencia en el noviazgo, una revisión teórica*. (Tesis de Licenciatura en Psicología). Perú: Repositorio Universidad Señor de Sipán. <https://hdl.handle.net/20.500.12802/6099>
- CNDH. (2020). Ley General de Acceso a las Mujeres a una Vida Libre de Violencia. Sobre los tipos y modalidades de violencia en la LAMVLV. *Reporte de monitoreo legislativo*. https://igualdaddegenero.cndh.org.mx/content/doc/observancia/rml_tymdevley.pdf
- Córdova, O. (2017). La violencia económica y/o patrimonial contra las mujeres en el ámbito familiar. *Persona y Familia*, 1(6), 39-58. <https://doi.org/10.33539/perfyfa.2017.n6.468>
- Dalouh, R., González, J., y Rodríguez, D. (2024). Percepciones y actuaciones del personal orientador sobre violencia en el noviazgo adolescente en escuelas culturales diversas. *Revista Española de Orientación y Psicopedagogía*, 35(1), 01-117. <https://doi.org/10.5944/reop.vol.35.num.1.2024.40829>
- Gobierno de México. (2019). *Violencia en el noviazgo: No es amor, no es amistad. Sistema Nacional de Protección de Niños, Niñas y Adolescentes*. <https://www.gob.mx/sipinna/es/articulos/violencia-en-el-noviazgo-no-esamor-no-es-amistad>
- González-Lozano, P., Muñoz-Rivas, M., Fernández-González, L., y Fernández-Ramos, S. (2015). *Violencia en el noviazgo: Realidad y prevención*. Pirámide.
- Gutiérrez, L., De la Cruz, M., Moreno, G., Gómez, Q., y López, P. (2021). Percepción de violencia en el noviazgo durante la pandemia por covid-19 en Tabasco. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 8(3), 1-14. <http://reibci.org/publicados/2021/dic/4400102.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2022). *Violencia contra las mujeres en México. Encuesta Nacional sobre la Dinámica de las Relaciones en los Hogares, ENDIREH 2021*. https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/endireh/2021/doc/nacional_resultados.pdf
- Jaen-Cortés, C. (2022, julio). Revictimización y desconocimiento legal limitan denuncias por violencia en el noviazgo. *Boletín Informativo UNAM-DGCS-547*. https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2022_547.html

- Jiménez, J., y López, C. (2020). Percepción de la violencia psicológica hacia la mujer en la relación de pareja y sexismo en adolescentes en acogimiento residencial: Comparación con un grupo de adolescentes no institucionalizados. *Revista Española de Investigación Criminológica*, 18(1), 1-21. <https://doi.org/10.46381/reic.v18i0.299>
- Muñiz-Rivas, M. (2024). Tejiendo vínculos: Jóvenes y violencia en el noviazgo, cuatro preguntas clave para la reflexión. *Antropología Experimental*, 24, 101-110. <https://doi.org/10.17561/rae.v24.8242>
- Murray, C. E., King, K., y Crowe, A. (2016). Understanding and Addressing Teen Dating Violence: Implications for Family Counselors. *The Family Journal*, 24(1), 52-59. <https://doi.org/10.1177/1066480715615668>
- Organización de las Naciones Unidas (ONU). (2021). *Una de cada tres mujeres en el mundo sufre violencia física o sexual desde que es muy joven*. <https://news.un.org/es/story/2021/03/1489292>
- Organización Mundial de la Salud. (OMS). (2021). *Violencia contra la mujer*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/violence-against-women>
- Poalacin-Iza, M., & Bermúdez-Santana, M. (2023). Violencia psicológica, sus secuelas permanentes y la proporcionalidad de la pena. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 6(2), 61-69. <https://doi.org/10.62452/ykpz5n21>
- Ramos, Y. (2024). Hacia una conceptualización de la violencia en el noviazgo. *Revista Científica Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 9(1), 144-151. <http://rccd.ucf.edu.cu/index.php/rccd>
- Sosa, A., y Menkes, C. (2016). Amarte duele. La violación sexual en las relaciones de noviazgo. Un análisis de sus determinantes sociales. *Papeles de Población*, 22(87), 43-62. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11244805003>
- Tronco, M., y Ocaña, S. (2012). Género y amor: Principales aliados de la violencia en las relaciones de pareja que establecen estudiantes del IPN. *Programa Institucional de Gestión con Perspectiva de Género* (pp. 1-30). <https://www.ipn.mx/genero/materiales/articulo-violentometro.pdf>
- Walker, L. E. (2012). *El síndrome de la mujer maltratada*. Bilbao: Desclée de Brouwer.

Edulcorantes. ¿La solución a una pandemia?

MANUEL DE JESÚS GALLEGOS SAUCEDO*

LEONARDO HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ**

Resumen

En recientes años el uso de edulcorantes ha ido en aumento, esto debido principalmente al gran número de enfermedades relacionadas con el excesivo consumo de azúcares o carbohidratos. En México las principales enfermedades relacionadas con el alto consumo de azúcares son: diabetes *mellitus*, hipertensión e hipercolesterolemias, por mencionar algunas, así como otras enfermedades metabólicas relacionadas. En este sentido se han liberado para su venta múltiples productos edulcorantes llamados también sustitutos de azúcar, con el fin de disminuir el consumo de azúcares refinados mediante la sustitución de moléculas cuyo sabor es similar al del azúcar, pero sin los efectos que ésta provoca. Sin embargo, existe poca evidencia o no se conocen suficientemente los efectos adversos o secundarios que pudieran ejercer este tipo de sustancias sobre los sistemas vivos debido a su consumo agudo y crónico. En este sentido, el propósito de este escrito es dar a conocer las generalidades sobre algunas de las sustancias más utilizadas como sustitutos de azúcares; así como su seguridad y efectos adversos o secundarios reportados por su

* Campus Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías (CUCEI), Departamento de Química, Universidad de Guadalajara.

** Departamento de Fisiología Centro Universitario de Ciencias de la Salud Universidad de Guadalajara

consumo. Además, se aborda el impacto que su consumo ha tenido en la lucha contra la diabetes en nuestro país.

Palabras clave: edulcorantes, obesidad, diabetes, seguridad.

Introducción

En recientes años el uso y liberación al mercado de productos edulcorantes ha ido en aumento, esto debido principalmente al preocupante aumento en los índices de obesidad y de diabetes alrededor del mundo. En México, el 80% de la población padece de sobrepeso y una tercera parte de la población adulta sufre de obesidad (36.9%), ocupando el segundo lugar en casos de obesidad en adultos y el primero en obesidad infantil a nivel mundial. Se sabe que la obesidad está asociada con otras enfermedades como son la diabetes, enfermedades cardiovasculares, trastornos óseos y musculares; así como con algunos tipos de cáncer. Además, está demostrado que uno de los principales factores para padecer este tipo de enfermedades y principalmente la obesidad y la diabetes, tiene que ver con una alta ingesta calórica y con el sedentarismo. En el caso de la diabetes, los edulcorantes además de ayudar con el control de peso también ayudan con el control de la glicemia, ya que por lo general la mayoría de los edulcorantes no son metabolizados ni absorbidos por el organismo. En este sentido, los edulcorantes o sustitutos de azúcar surgieron como una alternativa “saludable” frente al consumo de azúcares o carbohidratos edulcorantes que aportan altas cantidades de calorías como la sacarosa o también llamada azúcar de mesa, principal responsable de la obesidad y diabetes alrededor del mundo. Sin embargo, si bien es sabido que el uso de edulcorantes puede coadyuvar en el manejo de la obesidad y la diabetes gracias a sus características, no existe suficiente información respecto al uso y manejo de muchas de estas sustancias, así como tampoco de su seguridad y efectos a largo plazo, con lo cual han surgido mitos y leyendas urbanas sobre su uso. Por tal motivo, el objetivo de este trabajo es dar a conocer las generalidades alrededor de los edulcorantes con el propósito de aprender un poco más sobre ellos y darles un mejor uso con el fin de lograr una disminución en los índices de obesidad y diabetes en México.

Definición y generalidades

Los edulcorantes o sustitutos de azúcar son sustancias utilizadas como aditivos alimentarios que se utilizan principalmente como endulzantes en alimentos,

medicamentos y bebidas tales como refrescos, dulces, postres, etc. Estos productos se venden principalmente debido a su característico bajo potencial calórico y agradable sabor dulce. Adicionalmente, son utilizados como auxiliares en el control de peso debido a estas características, ya que su consumo contribuye significativamente en la disminución de la ingesta calórica en comparación con otras azúcares. Cabe destacar que algunos de estos compuestos son 200 o incluso 600 veces más dulces que el azúcar, tales como el aspartamo y la sucralosa, por mencionar algunos ejemplos. Su obtención o producción se lleva a cabo mediante dos principales métodos, ya sea en un laboratorio mediante técnicas de síntesis química como la sacarina, o mediante la extracción y purificación de estas sustancias a partir de fuentes naturales, como por ejemplo la Stevia. Por lo cual la manera más sencilla y utilizada en la clasificación de estas sustancias es bajo el criterio de origen. En la Tabla 1 se muestran distintos edulcorantes y sus respectivos grados de dulzura, así como su poder endulzante (PE) relativo respecto a la sacarosa.

Tabla 1. Grado de dulzor y poder endulzante relativo de algunos de los edulcorantes más utilizados

Edulcorante	Grado de dulzor	PE relativo a la sacarosa
Sacarosa	100	-
Fructuosa	173.3	1.73
Glucosa	74.3	0.74
Lactosa	16	0.16
Maltosa	32	0.32
Galactosa	32	0.32
Sacarina	30,000-40,000	300 o 400
Ciclamato de Sodio	5,000-10,000	50-100
Aspartame	15,000-20,000	150-200
Neotame	700,000-1,300,00	7,000-13,000
Acesulfame K	20,000	200
Taumatina	250,000	2,500
DHC de la neosperidina	25,000-200,000	250-2,000
Sucralosa	60,000	600
Esteviosido	35,000-40,000	350-400

Fuente: modificado de Miyashiro *et al.*, 2006.

Clasificación y tipos de edulcorantes

Los edulcorantes se dividen en dos: edulcorantes calóricos y edulcorantes aca-
lóricos, los cuales a su vez pueden ser naturales o artificiales; los naturales, tal
como su nombre lo dice, son aquellos que provienen de una fuente natural y
como ejemplo podemos citar a los glucósidos de esteviol, a la taumantina y
la neohesperidina, por mencionar algunos. Por otra parte, los edulcorantes
artificiales son sustancias altamente endulzantes que no aportan calorías, por
ejemplo la sacarina y el eritrol. Además, existen otras sustancias que poseen
sabor dulce, pero que no se consideran edulcorantes según la normativa eu-
ropea, en donde encontramos listados algunos monosacáridos, disacáridos u
oligosacáridos utilizados por sus propiedades edulcorantes. En la Figura 1 se
muestran los principales edulcorantes utilizados, así como la clasificación a la
que corresponden.

Figura 1. Clasificación de los edulcorantes

CALÓRICOS				ACALÓRICOS	
Naturales		Artificiales		Naturales	Artificiales
Azúcares	Edulcorantes calóricos	Azúcares modificados	Alcoholes de azúcar	Edulcorantes naturales sin calóricos	Edulcorantes artificiales
Sacarosa Lactosa Glucosa Galactosa Fructosa Maltosa Dextrosa Trehalosa Tagatosa Sucromalatosas	Miel Jarabe de arce Azúcal de palma Azúcar de coco Jarabe de sorgo	Jarabe de maíz alto en fructosa Caramelos Azúcares	Sorbitol Xilitol Eritrol Maltitol Isomaltosa Lactitol Glicerol	Stevia Taumantina Pentadina Monelina Brazzeina	Aspartamo Sucralosa Sacarina Neotami Acesulfane K Ciclamato Nehosperidina Alitamo Advantamo

Seguridad y efectos adversos de los edulcorantes

Respecto a la seguridad de los edulcorantes; según informes de las principales
agencias reguladoras de alimentos a nivel mundial como lo son la FDA, la Au-
toridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y en nuestro país Cofepris, el
uso de edulcorantes es seguro bajo ciertas condiciones y no presenta riesgos a
la salud siempre y cuando se consuman en cantidades limitadas. Estas agencias
incluso sugieren la cantidad que se puede tomar diariamente de forma segura,

a lo que se le conoce como ingesta diaria recomendada o DOI por sus siglas en inglés. Algo particularmente importante es que el DOI no es un parámetro estándar, ya que varía según el peso de las personas y también del tipo de edulcorante que se consuma; además, el DOI no es el mismo en todas partes, ya que existen diferencias en este parámetro entre Estados Unidos y la Unión Europea. Lo anterior debe ser considerado preocupante o al menos riesgoso, ya que al no existir concordancia en la información emitida por estas agencias respecto a su consumo y por lo tanto su seguridad, se propicia en la población cierto grado de confusión que promueve en muchos de los casos el mal uso de estos compuestos. Un posible efecto de ello podría ser el preocupante aumento de casos de obesidad en el mundo, ya que desde que los edulcorantes se comenzaron a comercializar masivamente en 1997, la tasa de obesidad ha ido incrementando en forma preocupante a pesar de que cada vez hay más edulcorantes y productos que los contienen en el mercado. Sin embargo, como ya se mencionó anteriormente, la tasa de obesidad ha ido en aumento y esto principalmente ha sido debido al abuso de este tipo de sustancias, cuyo consumo debe ser limitado ya que puede traer consigo efectos secundarios y adversos similares al consumo de otros edulcorantes como el azúcar. Algunos de los principales efectos secundarios por el abuso de altas cantidades de edulcorantes pueden ser: hiperglucemia, náuseas, mareos, dolor de cabeza, cansancio, debilidad, visión borrosa, micción frecuente y sed. Mientras que sus principales efectos adversos a largo plazo están relacionados con la obesidad, la diabetes tipo 2, síndrome metabólico y enfermedades coronarias.

Impacto del uso de edulcorantes contra la obesidad y la diabetes en México

En nuestro país, así como en el mundo no ha sido del todo bien comprendido o aplicado el uso de los edulcorantes, ya que si bien se sabe y está demostrado que pueden ser útiles en el manejo del control de peso y de la glucemia en personas con diabetes, lo anterior no queda claro y contrasta con los altos índices de obesidad y diabetes en nuestro país. Desde el comienzo de su comercialización masiva en 1997 a la fecha, no se han observado cambios importantes en la disminución de los casos de obesidad y diabetes, sino todo lo contrario. Adicionalmente, el consumo de este tipo de productos, así como del número

de edulcorantes utilizados en la industria va en aumento, esto a pesar de que no existe información detallada o completa sobre sus posibles efectos secundarios o adversos ni a corto ni a largo plazo de la mayoría de los edulcorantes utilizados. A pesar de esto, las agencias de control alimentario reconocen como seguro el consumo de estas sustancias bajo ciertas pautas y limitaciones debido a que, como ya se mencionó a lo largo del escrito, el abuso en el consumo de estas sustancias puede ser nocivo para la salud. En cambio, si se consume con responsabilidad y en las dosis adecuadas, los edulcorantes son seguros y efectivos en el manejo del control de peso, la glucemia y en enfermedades relacionadas con estrés metabólico. Se calcula que para el año 2050 el número de personas con diabetes tipo 2 se duplicará a 1,310 millones de personas. Además, según la encuesta Ensanut del año 2022, tres de cada cinco personas padecen hipertensión, y como ya se mencionó con anterioridad el 80% de la población en México padece sobrepeso. Si tomamos en cuenta la asociación existente entre estas tres enfermedades, podemos observar que uno de los puntos de confluencia está relacionado en gran medida con el consumo calórico o la dieta. En este sentido, los edulcorantes no han impactado en gran medida en el control de peso ni en los índices de obesidad y otras enfermedades relacionadas, sino todo lo contrario. Ya que a pesar de que se consumen tantas bebidas edulcoradas como refrescos de dieta y productos que los contienen, los índices de sobrepeso y obesidad, así como la presencia de enfermedades relacionadas van en aumento año con año. Lo anterior debido principalmente a los malos hábitos alimenticios y al sedentarismo, así como al abuso en el consumo de alimentos ultraprocesados con un alto contenido calórico, también conocido como dieta americana.

Lecturas recomendadas

- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA). (2024, julio 2). *Edulcorantes*. <https://www.efsa.europa.eu/es/topics/topic/sweeteners#publicado>
- Cofepris. (2023, noviembre 6). *Aditivos alimentarios (no publicados en el DOF)*. <https://www.gob.mx/cofepris/es/acciones-y-programas/aditivos-alimentarios-no-publicados-en-el-dof>
- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. (2022). Consultado el 15 de julio de 2024, en <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/doctos/analiticos/31-obesidad.yriesgo-ensanut2022-14809-72498-2-10-20230619.pdf>

- FDA. (2023, septiembre 6). *Qué tan dulce es: Todo sobre los edulcorantes*. <https://www.fda.gov/consumers/articulos-para-el-consumidor-en-espanol/que-tan-dulce-es-todo-sobre-los-edulcorantes>
- Mayo Clinic. (2023, marzo 21). *Edulcorantes artificiales y otros sustitutos del azúcar*. <https://www.mayoclinic.org/es/healthy-lifestyle/nutrition-and-healthy-eating/in-depth/artificial-sweeteners/art-20046936>
- MedlinePlus. (2023, abril 13). *Edulcorantes y azúcares*. [https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002444.htm#:~:text=Sacarosa%20\(az%C3%BAcar%20de%20mesa\)%3A,simples%2D%2D%20glucosa%20y%20fructosa](https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002444.htm#:~:text=Sacarosa%20(az%C3%BAcar%20de%20mesa)%3A,simples%2D%2D%20glucosa%20y%20fructosa)
- Miyashiro Guima, Marlene, Blanco Alvarado-Ortiz, Teresa, y Alvarado-Ortiz, Carlos. (2006). *Aditivos alimentarios*. Editorial Realidades, S. A.

¿Debe legislarse en el tema de reproducción humana asistida en México?

MARÍA TERESA GÓMEZ GONZÁLEZ*

Introducción

El artículo 4º de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos establece las bases para el acceso a los servicios de salud, la emisión de la normatividad aplicable a estos servicios es competencia federal, por lo que corresponde a la Ley General de Salud establecer las bases para su regulación.

Dicha ley data de 1984, está desactualizada, y por tanto no considera muchas tecnologías y avances científicos con los que se cuenta actualmente en el tema de la reproducción humana asistida, prueba de ello es que sólo señala de manera general:

Artículo 3º. En los términos de esta Ley, es materia de salubridad general:

Fracción xxvi. “El control sanitario de la disposición de órganos, tejidos y sus componentes y células”.

Artículo 27º. Para los efectos del derecho a la protección de la salud, se considerarán servicios básicos de salud los referentes a: fracción V “La salud sexual y reproductiva”.

Artículo 68º. Los servicios de planificación familiar comprenden: fracción IV “el apoyo y fomento de la investigación en materia de anticoncepción, infertilidad humana, planificación familiar y biología de la reproducción humana”.

* Centro Universitario de los Altos.

Artículo 466. “Al que sin consentimiento de una mujer o aun con su consentimiento, si ésta fuere menor o incapaz, realice en ella inseminación artificial, se le aplicará prisión de uno a tres años, si no se produce el embarazo como resultado de la inseminación; si resulta embarazo, se impondrá prisión de dos a ocho años”.

“La mujer casada no podrá otorgar su consentimiento para ser inseminada sin la conformidad de su cónyuge”.

Hay una gran cantidad de personas que no pueden tener hijos por la vía tradicional, estas cifras indican que el problema de la infertilidad es una cuestión de salud pública de gran magnitud, por lo que la reproducción humana asistida es una necesidad para muchas personas.

La aparición de las técnicas de reproducción humana asistida en la década de los setenta supuso la apertura de nuevas posibilidades de solución al problema de la esterilidad para un amplio número de parejas aquejadas por esta patología. La novedad y utilidad de estas técnicas hacen necesario que los países aborden su regulación.

En México se ha venido dando esta gestación sin un marco regulatorio, lo que implica que estos servicios se presten bajo la regulación general que aplica a los establecimientos de salud y sin una verificación sanitaria adecuada que proteja los derechos, la seguridad y la integridad física de las personas que se someten a este tipo de tratamientos.

Existe una gran cantidad de centros autorizados para realizar tratamientos para lograr la concepción (reproducción humana asistida), basta con consultar en Internet para obtener información de un alto número de centros dedicados al tema.

Las lagunas en la normativa perjudican a todas las partes en el proceso de reproducción humana asistida, dada la gran cantidad de personas que no pueden tener hijos por la vía tradicional, los médicos no tienen claro lo que está permitido y lo que no, están sujetos sólo a las reglas éticas, mientras que las personas que se someten a estas técnicas quedan al arbitrio de estar en las manos de un buen médico.

Por todo lo mencionado con antelación, resulta evidente que “hay un vacío legal que permite hacer cualquier cosa, sea lícita o ilícita, debe haber una regulación para establecer los requisitos que deben cumplir todas las partes involucradas en el proceso (personas, instituciones públicas y privadas)”.

Se hace necesario hablar de la reproducción humana asistida desde una perspectiva de respeto a los derechos humanos, lo que implica reconocer en todo momento los derechos reproductivos, especialmente los de las mujeres.

Antecedentes

A partir del nacimiento de Louise Brown el 25 de julio de 1978, quien fue la primera persona nacida mediante fecundación *in vitro*, el avance y perfeccionamiento de las técnicas de reproducción humana asistida ha sido incesante tanto en el conocimiento de los aspectos biológicos de la reproducción humana, como en el surgimiento de nuevas técnicas y líneas de investigación que han incrementado las opciones para enfrentar la infertilidad. Estos adelantos han estimulado la reflexión y el debate sobre los posibles efectos en las mujeres, así como las oportunidades y riesgos que plantean (Flores y Blázquez, 2018).

El uso de las técnicas de reproducción humana asistida ha ido en aumento a nivel global y México no es la excepción. Sin embargo, aun cuando ha crecido el número de clínicas, en muchos países aún no se ha regulado su práctica. En Latinoamérica, el aumento de centros también se ha incrementado, de acuerdo con la Red Latinoamericana de Reproducción Asistida (Redlara) —la primera red de registro, colecta y publicación de centros de reproducción asistida acreditados en Latinoamérica— (Cano y Esparza-Pérez, 2018). La expansión de centros de reproducción humana asistida y de nacimientos por distintas técnicas habla de un fenómeno global que requiere ser analizado y puesto a la luz desde diferentes perspectivas, en el caso concreto se analizará desde el ámbito legal.

En México el uso de las técnicas de reproducción humana asistida se ha extendido; no obstante, su documentación empírica y conceptual es escasa, en el país no se ha establecido una normativa federal en torno a las técnicas que sea compatible con el marco de derechos humanos y de los avances en biomedicina, por lo cual no se han sistematizado protocolos de verificación sanitaria ni de protección a los derechos humanos para las personas involucradas (GIRE, 2017; Esparza-Pérez, 2017). Únicamente se establece a la Cofepris como disposición para la obtención de licencias sanitarias, seguimiento del cumplimiento de normas, verificación, dictamen, muestreo, medidas de seguridad y sanciones (Cano y Esparza Pérez, 2018). La ausencia de regulación en las clínicas hace que el acceso a estas tecnologías sea ambiguo y limitado a los

criterios de cada institución, produciendo sesgos valorativos. Por ejemplo, en el Instituto de Perinatología sólo se permite el acceso a reproducción humana asistida a parejas heterosexuales. Así, el contexto jurídico en México facilita la violación de los derechos humanos de las mujeres implicadas en el proceso y sólo en la Ley General de Salud, en el artículo 466, se menciona sanción para casos donde se utilice inseminación artificial sin el consentimiento de la mujer.

A partir de 1980 en nuestro país se han consolidado las primeras clínicas en hospitales del sector público y privado para la atención a parejas heterosexuales con condiciones de infertilidad; entre estas instituciones se encuentran el Instituto Nacional de Perinatología (Inper, en 1989) y el Hospital 20 de Noviembre del Instituto de Seguridad y Servicios Sociales para los Trabajadores del Estado (ISSSTE, en 1996). En ese entonces no había regulación jurídica para el uso de las técnicas, fue hasta el año 2002 cuando se realizaron reformas en el Código Civil del Distrito Federal, ahora Ciudad de México, en las cuales refieren el derecho de los cónyuges a emplearlas y a las relaciones de parentesco y filiación que pueden darse por medio de fecundación asistida.

Legislación en otros países

España cuenta con una de las leyes más progresistas en materia de reproducción humana asistida, “Ley 14/2006”, que permite la donación de óvulos y espermatozoides y la maternidad subrogada altruista, garantiza el anonimato, la seguridad y la ética de los donantes; el sistema de salud pública cuenta con tratamientos disponibles y cubre algunos de los procedimientos.

Argentina tiene la “Ley 26.862, establece que toda persona mayor de edad, cualquiera que sea su orientación sexual o estado civil, se atienda en el sistema público o privado puede acceder de forma igualitaria a las técnicas y procedimientos realizados con asistencia médica para lograr el embarazo.

La India es uno de los destinos más populares para el turismo de reproducción humana asistida, debido a los costos relativamente bajos y la disponibilidad de tratamientos, la ley regula la práctica, prohibiendo la maternidad subrogada comercial y permitiendo sólo la subrogación altruista. Existe una amplia disponibilidad, aunque la regulación reciente busca evitar abusos y proteger los derechos de las mujeres.

Austria ya practica la inseminación artificial desde los años 1988-1990 y exige escritura notarial donde conste el consentimiento formal en el caso de parejas de “hecho” que utilicen espermatozoides de terceros.

Suecia considera la “Ley sobre la Inseminación Artificial” (1984) y “Ley sobre la Fecundación in Vitro” (1988).

Noruega tiene la “Ley sobre Fertilización Artificial” (1987) y “Ley sobre las Aplicaciones Biotecnológicas en Medicina” (1994).

Alemania la “Ley sobre Protección del Embrión Humano” (1990).

Inglaterra la “Ley sobre Fertilización Humana y Embriología” (1991).

La reproducción humana asistida en Estados Unidos está regulada principalmente a través de directrices establecidas por la “Sociedad Americana de Medicina Reproductiva” (ASRM) y los “Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades” (CDC). En ese país la maternidad subrogada es legal en algunos estados y prohibida en otros, creando un mosaico legal. Es una de las naciones con mayor acceso a tecnología avanzada en reproducción humana asistida, pero los costos son elevados y muchas veces no están cubiertos por seguros.

México

Como ya se mencionó, en nuestro país la legislación relativa al tema es muy general y no considera la tecnología y avances científicos con los que se cuenta actualmente, sólo se habla de aspectos muy básicos en la Ley General de Salud.

El Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud, en el artículo 40 establece que “Fertilización asistida es aquella en que la inseminación es artificial (homóloga o heteróloga) e incluye la fertilización in vitro”.

En el artículo 43 refiere que “para la fertilización asistida, se requiere obtener la carta de consentimiento informado de la mujer y de su cónyuge o concubinario de acuerdo con lo estipulado en los artículos 21 y 22 del citado Reglamento, previa información de los riesgos posibles para el embrión, feto o recién nacido en su caso”. Agrega que el consentimiento del cónyuge o concubinario sólo podrá dispensarse en caso de incapacidad o imposibilidad fehaciente o manifiesta para proporcionarle, porque el concubinario no se haga cargo de la mujer, o, bien, cuando exista riesgo inminente para la salud o la vida de la mujer, embrión, feto o recién nacido”.

El artículo 56 menciona que “la investigación sobre fertilización asistida sólo será admisible cuando se aplique a la solución de problemas de esterilidad que no se puedan resolver de otra manera, respetándose el punto de vista moral, cultural y social de la pareja, aun si éste difiere con el de investigador”.

El Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios menciona en el artículo 64 que

[...] corresponde a las autoridades sanitarias, como requisito para expedir la licencia sanitaria, comprobar que los establecimientos estén debidamente acondicionados para el uso a que se destinen o pretendan destinar, de acuerdo con su clasificación por categorías o por las características del proceso respectivo y atendiendo a lo que establezca en las normas aplicables.

Entidades del país

El tema de la filiación está regulado en los Códigos Civiles de las entidades federativas, que en su mayoría no abordan en particular el tema de la reproducción asistida.

En Códigos Civiles de otros estados de la República, en el mejor de los casos sólo se reconoce el parentesco por consanguinidad entre el hijo producto de la reproducción humana asistida y los cónyuges o concubinos que hayan procurado el nacimiento, como lo establece el artículo 477-Bis del Código Civil de Puebla y el artículo 327 del Código Familiar para el Estado de Michoacán de Ocampo.

Algunos Códigos Civiles abordan de manera más puntual algunas cuestiones relativas al tema, señalo como ejemplo la Ciudad de México, en el Código Civil del Distrito Federal en los artículos 162, 293, 326, 329 y 338 señala el derecho de los cónyuges a emplear técnicas de reproducción asistida y a las relaciones de parentesco y filiación que pueden darse.

En el Código Penal del Distrito Federal se establece un apartado denominado “Procreación asistida, inseminación artificial, esterilización forzada”, otro apartado denominado “manipulación genética”, ambos conformados por nueve artículos que sancionan conductas relacionadas con las técnicas de reproducción asistida.

En el Código Civil del Estado de México, los artículos 4.112, 4.113, 4.114, 4.115 y 4.116 señalan que se requiere el consentimiento de la mujer para la inseminación artificial, se establece la prohibición de las técnicas de reproducción

asistida en mujeres menores de edad o incapaces; así como para mujeres casadas sin el consentimiento del cónyuge; la prohibición para clonación o selección racial y no dar a conocer los nombres de donadores de gametos.

El Código Civil de Tabasco, en el artículo 380 Bis 1-7 reconoce y permite el uso de técnicas de reproducción asistida dentro del matrimonio con común acuerdo entre los cónyuges o concubinos; asimismo, se establece una diferencia entre la “madre gestante sustituta” y la “madre subrogada” y “madre contratante”. Se estipulan las formas de “gestación por contrato”, condiciones físicas y legales para las madres gestantes sustitutas.

El Código Familiar de San Luis Potosí, en los artículos 236 al 246 reconoce la filiación resultante de la fecundación humana asistida, menciona las técnicas que podrán practicarse, aprueba la inseminación homóloga y sólo permite la reproducción heteróloga cuando ha sido médicamente diagnosticada, y se compruebe fehacientemente que no existe otra opción para realizarla.

El Código Familiar de Sonora, en los artículos 207 y 208 establece como “padres biológicos” a quienes utilicen métodos de técnicas de reproducción asistida, siempre que haya autorización de por medio. Establece también la posibilidad de obtener información (sin reclamar ningún derecho filiatorio) sobre los donadores de gametos en caso de que la niña o el niño lo solicite, al llegar a la mayoría de edad. Señala que la autorización para la reproducción asistida puede hacerse ante el director de la clínica o centro hospitalario, ante notario público o por acuerdo privado suscrito ante testigos.

El Código Familiar para el Estado de Zacatecas, en el artículo 246 señala que será considerado como “vínculo de consanguinidad” aquél establecido en el uso de técnicas de reproducción asistida por cónyuges o concubinos que utilicen dichos métodos”.

El Código Familiar de Sinaloa contempla un capítulo especial: “De la reproducción humana asistida y la gestación subrogada”; aborda el tema de manera más amplia en los artículos 282 al 299, en los que menciona que se permite a los cónyuges o concubinos la inseminación o fecundación homóloga y heteróloga; en relación con la gestación por sustitución, establece la edad y estado físico necesario para las mujeres gestantes, que tengan al menos un hijo consanguíneo sano, una buena salud psicosomática y que hayan dado su consentimiento voluntario para prestar su vientre, así como los derechos y obligaciones de las personas implicadas en el acuerdo.

Diferencia la maternidad por sustitución en: a) subrogación parcial; b) total; c) onerosa, y d) altruista. Tratándose de las personas casadas, no podrán donar esperma u óvulo a la madre portadora, a no ser que obtuvieren el consentimiento de su cónyuge.

Por todo lo mencionado con antelación, considero que lo señalado en el Código Familiar de Sinaloa podría tomarse como ejemplo para legislar en otros estados del país.

Conclusiones

En la actualidad las técnicas de reproducción humana asistida forman parte de la realidad social, es necesario que las personas reciban información sobre los avances y sus posibilidades reales; que conozcan su derecho a la salud reproductiva y al acceso a los adelantos científicos y tecnológicos, derecho que guarda una evidente conexión con la libertad y dignidad de las personas (derechos humanos).

Es importante defender los derechos reproductivos en cada país, incluso la Corte Interamericana de Derechos Humanos ya se ha pronunciado a favor de su respeto; aunado a lo anterior, existe una violación al principio de progresividad cuando el Estado mexicano no adopte medidas apropiadas de carácter legislativo, administrativo, presupuestario, judicial o de otra índole para dar plena efectividad a los derechos humanos.

Es innegable que el tema representa una tarea legislativa y reglamentaria pendiente en nuestro país, dados los antecedentes de evolución en otras legislaciones del mundo y el uso cada vez más frecuente de estas técnicas, por lo que se debe crear a partir de nuestra Carta Magna una legislación especial tanto en el ámbito de la salud como en el civil.

Cabe mencionar que en algunos estados del país ya se han presentado iniciativas para que se apruebe una Ley de Reproducción Humana Asistida, que lamentablemente no han prosperado, contribuyen al rechazo de dichas iniciativas a mi juicio dos principales razones: a) los principios religiosos y morales de tradición católica, y b) las obligaciones económicas resultantes por parte del Estado, sobre todo en países no desarrollados o en vías de desarrollo, dada la escasez de recursos.

Existe un enorme vacío normativo que no se subsana con lo establecido en los Códigos Civiles, es imprescindible que nuestros legisladores se den a la tarea de establecer los requisitos y formalidades para la reproducción humana asistida, por lo que cito a continuación reglas básicas que deberán abordarse en dicha legislación:

1. Crear en la Secretaría de Salud un registro único en el que deben estar inscritos todos los establecimientos habilitados para realizar procedimientos y técnicas de reproducción humana asistida, incluyendo los establecimientos médicos que funcionan como bancos receptores de gametos y/o embriones.
2. Publicar la lista de centros de referencia públicos y privados habilitados, distribuidos en todo el territorio nacional, con miras a facilitar el acceso de la población a las mismas.
3. Determinar los requisitos que deberán cumplir los hospitales, centros e instituciones de asistencia e investigación donde se practiquen las técnicas de reproducción humana asistida con el fin de que estén certificados.
4. Señalar las responsabilidades en que pueden incurrir todas las personas que participan en la aplicación de las técnicas y la confidencialidad en la información de los donantes de gametos y los receptores.
5. Propiciar la formación y capacitación continua de recursos humanos especializados en los procedimientos y técnicas de reproducción humana asistida.
6. Fijar los requisitos que el profesional médico responsable que participe en el procedimiento deberá incluir en la historia clínica, como son: haber brindado asesoría a la pareja sobre la técnica a utilizar, los tratamientos, posibilidades, riesgos, posibles secuelas, beneficios; todo esto antes de someterse al tratamiento, certificar que la técnica de reproducción asistida es la única manera en que la pareja puede concebir, que la pareja tuvo valoración y apoyo psicológico y, por último, incluir los resultados obtenidos.
7. Efectuar campañas de información a fin de promover los cuidados de la fertilidad en mujeres y varones.
8. Implementar las medidas necesarias para asegurar el derecho al acceso igualitario de todos los beneficiarios de estos procedimientos.

9. Expresar de quien(es) se requiere el consentimiento ratificado de manera libre ante fedatario público.
10. Especificar que no habrá vínculo de filiación entre el donante y el nacido bajo las técnicas de reproducción humana asistida.
11. Señalar la edad mínima y máxima requerida para ser receptora o usuaria de las técnicas de reproducción humana asistida.
12. Expresar si la mujer podrá ser usuaria o receptora de las técnicas con independencia de su estado civil y orientación sexual.
13. Especificar que no se podrán seleccionar embriones para implante atendiendo a características genéticas, estéticas o determinación de sexo, excepto en caso de que se trate de proteger el producto para evitar una enfermedad hereditaria ligada al sexo, lo anterior a fin de evitar cualquier tipo de discriminación.
14. Señalar si las técnicas de reproducción humana asistida sólo podrán realizarse cuando existan posibilidades razonables de éxito y no supongan riesgo grave para la salud de la mujer o para su posible descendencia.
15. Determinar si la mujer a la que se le apliquen las técnicas de reproducción humana asistida podrá decidir o no que se suspendan las mismas antes de la fecundación del óvulo, por lo que dicha manifestación de voluntad deberá hacerse por escrito y con los mismos requisitos que se siguieron para consentir.
16. El anonimato de los donantes debe ser atendido por la legislación; sin embargo, bajo ciertas circunstancias debe privilegiarse el derecho del nacido bajo estas técnicas de reproducción humana asistida, a que tenga conocimiento de su origen, pero específicamente a que se le permita conocer las características genéticas del donante.
17. Establecer si la maternidad por sustitución será: subrogación parcial, total, onerosa o altruista.
18. Establecer si el marido podrá prestar su consentimiento o no para que su material reproductor pueda ser utilizado con posterioridad a su fallecimiento para fecundar a su mujer, y dicho consentimiento producirá los efectos legales que se derivan de la filiación matrimonial, y si el consentimiento para la aplicación de las técnicas en estas circunstancias

podrá ser revocado en cualquier momento antes de la realización de las técnicas de reproducción asistida.

19. Señalar qué destino se dará a los embriones sobrantes en la aplicación de la técnica de fecundación *in vitro* que no sean transferidos a la mujer en un ciclo reproductivo.

Lecturas recomendadas

- Amador Jiménez, Mónica. (2011). Biopolíticas y biotecnologías: Maternidad subrogada. *Revista Nomadías*, 14, 35-58, noviembre. Universidad Jawaharlal Nehru-Centro de Estudios de Política Científica. indiamonik.amador@gmail.com
- Argentina.gob.ar. (s/f). Normativa/ Ley 26.862. <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26862-216700/texto>
- Blázquez Graf, N., Cadena Alvear, I., & Chapa Romero, A. C. (2022). Debates feministas en torno a la reproducción asistida. *Inter Disciplina*, 10(28), 273-300. <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485705e.2022.28.83299>
- Cámara de Diputados. (2004-28-12). *Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
- . (2014-02-04). *Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regla.htm>
- . (2024-22-03). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
- . (2024-07-06). *Ley General de Salud*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/index.htm>
- Congreso de la Ciudad de México. (2024-26-06). *Código Civil para el Distrito Federal*. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/42c7dc-d8aa0f9aef4da0b3c4eff097c538ff155e.pdf>
- . (2024-26-06). *Código Penal para el Distrito Federal*. <https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/0978bc5203b1b2b05ab2aac-f36b4739100f8d6f.pdf>
- Congreso del Estado de Puebla. (2023-05-12). *Código Civil para el Estado Libre y Soberano de Puebla*. [Codigo_Civil_para_el_Estado_Libre_y_Soberano_de_Puebla_05_12_2023.pdf](https://www.congresocdmx.gob.mx/media/documentos/0978bc5203b1b2b05ab2aac-f36b4739100f8d6f.pdf)
- Congreso del Estado de San Luis Potosí. (2023-08-09). *Código Familiar para el Estado de San Luis Potosí*. <https://congresosanluis.gob.mx/sites/default/>

- files/unpload/legislacion/codigos/2023/09/Codigo_Familiar_para_el_Estado_de_San_Luis_Potosi_08_Septiembre_2023.pdf
- Congreso del Estado de Sinaloa. (2023-11-08). *Código Familiar del Estado de Sinaloa*. https://gaceta.congresosinaloa.gob.mx:3001/pdfs/leyes/Ley_4.pdf
- Congreso del Estado de Tabasco. (2024-25-05). *Código Civil del Estado de Tabasco*. <https://congresotabasco.gob.mx/wp/wp-content/uploads/2024/06/Codigo-Civil-para-el-Estado-de-Tabasco.pdf>
- Congreso de Michoacán de Ocampo. (2023-30-11). *Código Familiar para el Estado de Michoacán de Ocampo*. <http://congresomich.gob.mx/file/codigo-familiar-ref-5-de-abril-de-2021.pdf>
- Espejo Yaksic, Nicolás (ed.). (2022). *La gestación por subrogación en América Latina*. México: Suprema Corte de Justicia de la Nación.
- Gobierno de España, Ministerio de la Presidencia, Justicia y Relaciones con las Cortes. Agencia Estatal, Boletín Oficial del Estado (2015-14-07). *Ley 14/2006, sobre técnicas de reproducción humana asistida*. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=boe-a-2006-9292&tn=1&p=20150714>.
- Gobierno del Estado de México. (2024-05-04). *Código Civil del Estado de México*. <https://appsma.edomex.gob.mx/portal/wp-content/uploads/2024/05/codvig001.pdf>
- Legislatura del Estado de Sonora. (2023-16-01). *Código de Familia y de Código de Procedimientos Familiares y del Registro Civil para el Estado de Sonora*. http://www.congresoson.gob.mx:81/Content/Doc_leyes/Doc_436.pdf
- Legislatura del Estado de Zacatecas. (2024-28-02). *Código Familiar del Estado de Zacatecas*. <https://www.congresozaac.gob.mx/64/ley&cual=104>
- Pérez Carbajal y Campuzano, Hilda. (2015). *Técnicas de reproducción humana asistida: Su repercusión en las instituciones del derecho de familia*. México: Porrúa.

¿Los medicamentos contaminan el medio ambiente?

SUSAN ANDREA GUTIÉRREZ RUBIO*
ROBERTO CARLOS ROSALES GÓMEZ**

Resumen

El uso y consumo de sustancias ya sea naturales o sintéticas para recuperar la salud o aliviar algún padecimiento, se ha practicado desde las civilizaciones antiguas hasta la actualidad. Sin embargo y a pesar del esfuerzo en el diseño, estudio e implementación de los tratamientos farmacológicos, poco se ha estudiado de su impacto al medio ambiente, principalmente dentro de la cadena trófica. Muchos medicamentos de amplio uso son desechados ya sea en su forma completa, activos o caducados, así como en metabolitos después de su uso. Muchas de estas sustancias deben ser inactivadas o incluso evitar su desecho al drenaje común. Además de los problemas al medio ambiente, existe la posibilidad de que su desecho a la basura municipal pueda contribuir al mercado negro de medicamentos. Existen instancias dedicadas a recabar las sustancias no empleadas activas o caducadas para su desecho adecuado. Es de suma importancia que todas las personas usuarias de medicamentos tengan la información de cómo desechar la sustancia y los posibles riesgos de su

* Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara.

** Centro Universitario de Tonalá, Universidad de Guadalajara.

mala disposición final. El objetivo de este capítulo es concientizar de la importancia del estudio de la contaminación por fármacos, los fármacos más frecuentemente asociados a la contaminación y su adecuada disposición.

Contaminación invisible que amenaza el medio ambiente

La contaminación de algunos recursos naturales en ocasiones puede ser imperceptible, por ejemplo, cuando existen sustancias disueltas en el agua, aun cuando ésta sea potable, sustancias absorbidas en el suelo, sustancias que se incorporan en la cadena alimenticia y por lo tanto forman parte de nuestros ciclos de alimentación. La farmacontaminación sucede cuando un medicamento o sus productos, precursores o de degradación se encuentran en el medio ambiente.

Todo medicamento es una preocupación ambiental, ya que está diseñado con la intención específica de proporcionar algún tipo de respuesta biológica en los organismos, y resulta imposible predecir sus efectos en otros sistemas o su impacto en el medio ambiente en general (Barceló y López, 2008).

Algunas de las sustancias que pueden generar la farmacontaminación son las partículas suspendidas, microorganismos y también sustancias como medicamentos y sus metabolitos, entre los que se incluyen psicotrópicos, analgésicos/antiinflamatorios, antimicrobianos y beta bloqueadores.

Las razones por las que estas sustancias están presentes en nuestros ecosistemas es por derrames de residuos derivados de su fabricación, por excreción a través de orina, heces o la piel de productos de uso oral y tópico. Otro de los hechos que genera la farmacontaminación es que en los hogares hay una gran cantidad de medicamentos sobrantes y éstos son empleados para la automedicación (Vicentin *et al.*, 2021). Se ha documentado un exceso de almacenamiento de medicamentos en los hogares que se calcula en alrededor de 50 a 150 gramos de medicamentos por persona por año (Echaburu, 2022), dado por la automedicación (principalmente generado por el aparato publicitario) y por el resguardo de medicamentos que quedan como sobrantes de los tratamientos indicados, ya sea que estén vigentes o caducados (Vicentin *et al.*, 2021).

Al estudiar otras razones de las fuentes de contaminación por fármacos, se ha documentado que puede suceder por el desecho a la basura municipal o al drenaje (lavamanos, inodoros, duchas) de los medicamentos no utilizados o caducados, incluidos los medicamentos de uso veterinario (como los empleados

para la cría de peces, uso de antimicrobianos en el ganado, etc.). Asimismo, los productos químicos generados en contenedores, corrales de engorda (Vicentin *et al.*, 2021).

Residuos farmacológicos y su disposición

Los residuos farmacológicos son las sustancias cuya presencia en el medio ambiente se considera imperceptible, ya sea porque sus efectos se desconocen o son insuficientes, que se tornan una amenaza tanto para el medio ambiente como para los seres vivos (ecosistema). Los medicamentos caducados son considerados por la NOM-CRP-007-ECOL/1993 como residuos peligrosos por su toxicidad ambiental.

Se ha detectado que en aguas superficiales o subterráneas los residuos de medicamentos se encuentran en niveles de ng o p g por litro; en el caso de suelos y sedimentos, se suelen acumular y encontrar en g por cada kg, y pueden persistir por largos periodos de tiempo (Barceló y López, 2008).

Entre el 30 y 90% de la dosis ingerida por humanos y animales es eliminada por orina, la principal vía de excreción de xenobióticos, en forma de metabolitos o como sustancias inalteradas (Veno, 2017).

En el agua potabilizada se han encontrado sustancias como el diazepam (un ansiolítico tipo benzodiacepina), diclofenaco (un antiinflamatorio no esteroideo), enalapril (un antihipertensivo del tipo inhibidores del sistema renina angiotensina) y EDDP (metabolito producto de la degradación de la metadona, analgésico narcótico). Por otro lado, en aguas residuales y dentro de la cadena alimenticia se han encontrado sustancias como la cafeína (presente en algunos téis y el café, además de medicamentos formulados con esta sustancia), ibuprofeno (antiinflamatorio no esteroideo), diclofenaco, beta-bloqueantes (antihipertensivo de tipo bloqueador simpático), carbamazepina (anticonvulsivo), enalapril y sildenafil (agente vasodilatador), estrógeno (hormona sexual esteroidea femenina, presente en anticonceptivos) (Vicentin *et al.*, 2021). Asimismo, es de gran preocupación la presencia de antimicrobianos en el agua o suelos, ya que ellos o sus metabolitos pueden generar una presión selectiva de las bacterias que promueva la resistencia microbiana y con ello que se pierdan las estrategias antimicrobianas disponibles actualmente frente a los patógenos que generan enfermedades en el humano y en otros animales (Malmqvist *et al.*, 2023).

Los medicamentos caducados o sobrantes deben desecharse de acuerdo con normas y para ellos hay diversas formas de su inactivación o destrucción, entre las que se incluyen la incineración, disposición en rellenos sanitarios o controlada para su eliminación y, finalmente, el confinamiento. En México, de acuerdo con el artículo 42 del Reglamento de Insumos para la Salud, la inactivación o destrucción de los insumos se hará conforme a la norma correspondiente, y en todos los casos las erogaciones que se originan serán asumidas por el establecimiento que las tenga en posesión. Asimismo, la Ley General de Salud en sus artículos 233, 404 fracción X y el 414 contempla la destrucción de los medicamentos vencidos.

La industria farmacéutica tiene procesos para el tratamiento de medicamentos caducados con el fin de reducir el volumen de residuos, la separación de los componentes, la disminución de la toxicidad, y recuperar el material que sea posible. Para el tratamiento y la disposición de los medicamentos caducados en México intervienen la SSA y el Área de Residuos Peligrosos del Instituto Nacional de Ecología (INE). La Secretaría de Salud inactiva y destruye los medicamentos de los grupos de antibióticos, psicotrópicos, oncológicos y hormonales (Mata Munguía *et al.*, 2014).

Los medicamentos caducados en México pueden ser dispuestos para evitar la farmacontaminación por medio de su destrucción por empresas especializadas o por los laboratorios farmacéuticos, siguiendo normas ecológicas, en el mejor de los casos. En otros casos pueden ser desechados en la basura municipal, por desinformación, o desviados al comercio ilegal, lo que puede conducir a su uso ya sea por indicación terapéutica o por autoprescripción (Leyva *et al.*, 2006).

Se estima que al menos la mitad de los medicamentos empleados por la comunidad no son eliminados correctamente (Echaburu, 2022). En México se cuenta con una asociación civil llamada Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos o SINGREM, que cuenta con contenedores para la recuperación de medicamentos, ya sean sobrantes o caducados, para generar un tratamiento y disposición final seguro; sin embargo, está dirigido para medicamentos sólidos (García-Morales *et al.*, 2021; SINGREM).

El método por el que se hace la disposición final de los desechos por el SINGREM es por incineración, el cual es muy efectivo; no obstante, pueden generarse emisiones de gases contaminantes como óxido de nitrógeno, dióxido de azufre, dioxinas, furanos y cenizas residuales, entre otros (Barceló y López,

2008). Estos contaminantes provocan daños graves a la salud humana, como reducción del funcionamiento pulmonar, asma, alteraciones cutáneas y cáncer (OMS, 1999).

Estudios de impacto de residuos farmacológicos en México

La farmacontaminación se ha investigado en instancias nacionales e internacionales que han documentado la presencia de residuos farmacológicos en el ambiente, en el agua, sedimentos y que ha ocasionado impacto en la fauna y cadena alimenticia. El uso indiscriminado de medicamentos ya sean indicados o por autoprescripción, el desecho constante inadecuado o por metabolitos generados después de su uso humano o veterinario, la baja o nula biodegradabilidad y el poco o nulo monitoreo asociado al escaso control y regulación en la eliminación de los medicamentos, fundamentalmente a nivel doméstico, son posibles causas que abonan a la farmacontaminación (Vicentin, 2021).

Uno de los recursos que se ha estudiado con mayor documentación es el agua. El agua para uso y consumo humano debe cumplir con más de 40 parámetros de calidad química, física y biológica. Dentro de la normatividad mexicana se han establecido los límites permitidos de microcontaminantes, entre los que se encuentran las sustancias activas de fármacos o productos de cuidado personal y sus subproductos de degradación, disueltos en ella. A este tipo de contaminantes se les designa como contaminantes emergentes (Barceló y López, 2008).

La fabricación de medicamentos está regulada por la NOM-059-SSA1-2015 (ssa, 2015), que establece las buenas prácticas de fabricación de medicamentos, pero no tomó en cuenta la disposición final de éstos como desechos o subproductos de fabricación, es decir aspectos de farmacontaminación. La consecuencia es que las industrias farmacéuticas que cumplen con la legislación vigente no están obligadas a la eliminación amigable con el ambiente, más aún, no son observadas o sancionadas por la eliminación de los residuos farmacológicos al ambiente. No hay, hasta este momento, un procedimiento para la correcta eliminación de residuos farmacológicos por parte de las empresas farmacéuticas, hospitales o casas-habitación de nuestro país (Gracia-Vásquez *et al.*, 2014).

A la fecha no se cuenta con un inventario mundial completo de los niveles de exposición, bioacumulación, persistencia o toxicidad de los productos farma-

céuticos en agua, suelo y aire alrededor del mundo, aun cuando hay suficiente evidencia de su impacto en reportes internacionales (Barceló y López, 2008).

En México se han realizado algunos estudios relacionados con la farmacotaminación. Un estudio realizado en el río Tlalnepantla del Estado de México, en la especie de pez *Cyprinus carpio* indicaron que en sus músculos se encontraban residuos de diclofenaco, ibuprofeno y naproxeno (antiinflamatorios no esteroideos), a concentraciones (traza) de 0.08 a 0.21 ppm, lo que les generó estrés oxidativo y alteraciones genéticas. Además, se documentó que el ketorolaco en niveles de 1 a 60 ppm en el medio acuático del *C. carpio* condujo a estrés oxidativo y genotoxicidad como respuesta adaptativa (Morachis-Valdez *et al.*, 2015; Galar-Martínez *et al.*, 2016). Las observaciones anteriores sugieren que *C. carpio* puede ser un bioindicador para ensayos sobre los efectos toxicológicos de residuos farmacológicos, sumado a su sencilla alimentación y alta resistencia a los residuos farmacológicos (Islas-Flores *et al.*, 2013). Se ha investigado el daño en *C. carpio* en un ambiente de agua de drenaje con desechos farmacológicos provenientes de un hospital del sector público, demostrando la presencia de estrés oxidativo, principalmente con consecuencias en branquias, cerebro e hígado (Neri-Cruz *et al.*, 2015).

Otra especie de consumo que se ha estudiado frente al efecto de naproxeno, otro antiinflamatorio no esteroideo, es el crustáceo *Hyalella azteca*. Dentro de las estructuras dañadas por la toxicidad estuvieron sus branquias, cerebro y células de la hemolinfa, así como alteraciones en el desarrollo reproductivo (García-Medina *et al.*, 2015). Con el nivel de 0.467 mg/kg de diclofenaco, los efectos tóxicos en *H. azteca* consistieron en alteraciones metabólicas, entre ellas la peroxidación de lípidos, variación en el contenido de proteínas y disminución de la actividad enzimática (Oviedo-Gómez *et al.*, 2010). Otro reporte de los efectos tóxicos de diclofenaco, ibuprofeno y naproxeno en el crustáceo *Daphnia magna* encontró daños por estrés oxidativo y alteraciones genéticas (Gómez-Oliván *et al.*, 2014).

Conclusión

La presencia de sustancias tóxicas principalmente asociadas a la fabricación, uso y desecho indiscriminado de medicamentos y sus metabolitos en el medio ambiente ha sido ampliamente documentada alrededor del mundo. Hay poca o

nula regulación legal y ambiental para evitar o remediar la farmacontaminación, aun en países desarrollados. Es importante visibilizar este gran problema ya que el agua, los suelos y los animales dentro de la cadena alimenticia pueden verse afectados y con ello afectar directa o indirectamente a los humanos y otros animales de estos contaminantes emergentes. La detección y regulación de los residuos farmacológicos es de suma importancia, así como el estudio del impacto de su presencia en diferentes especies que permita analizar las consecuencias a corto, mediano y largo plazos. El uso de modelos de estudio para evaluar la toxicidad de residuos farmacológicos es una gran área de oportunidad en este momento. Tanto las instancias gubernamentales como las farmacéuticas requieren hacer un gran esfuerzo para evitar, contener y remediar la farmacontaminación, así como realizar consideraciones dentro de la farmacología experimental y clínica respecto al impacto de las sustancias y sus metabolitos dentro del medio ambiente.

Lecturas recomendadas

- Barceló, D., & López, M. J. (2008). Contaminación y calidad química del agua: El problema de los contaminantes emergentes. *Jornadas de presentación de resultados: el estado ecológico de las masas de agua* (pp. 1-27). Panel científico-técnico de seguimiento de la política de aguas, Sevilla.
- Echaburu, S. D. (2022). *Farmacontaminación. Impacto medioambiental de los medicamentos desde el punto de vista de los profesionales de la salud*. (Tesis doctoral, Universidad del País Vasco-Euskal Herriko Unibertsitatea).
- Galar-Martínez, M., García-Medina, S., Gómez-Oliván, L. M., Pérez-Coyotl, I., Mendoza-Monroy, D. J., y Arrazola-Morgáin, R. E. (s/f). Oxidative stress and genotoxicity induced by ketorolac on the common carp *Cyprinus carpio*. *Environ. Toxicol.*, 31(9), 35-43.
- García-Morales, M. A., Contreras-Rodríguez, A., Arreola, A., Guadalupe, M., Ruiz, E. A., & Morales-García, M. R. (2021). Manejo de residuos de fármacos: Una breve revisión. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 37.
- Islas-Flores, H., Gómez-Oliván, L. M., Galar-Martínez, M., Colín-Cruz, A., Neri-Cruz, N., y García-Medina S. (2013). Diclofenac-induced oxidative stress in brain, liver, gill and blood of common carp (*Cyprinus carpio*). *Ecotoxicol. Environmen. Saf.m* 92, 32-38.

- Leyva, R., Wirtz, V., Dreser, A., & Reich, M. (2006). Hacia una política farmacéutica integral para México. *Salud Pública de México*, 48(2), 179-180.
- Malmqvist, E., Fumagalli, D., Munthe, C., & Larsson, D. J. (2023). Pharmaceutical pollution from human use and the polluter pays principle. *Public Health Ethics*, 16(2), 152-164.
- Mata Munguía, C., Reboloso Zúñiga, E., Sánchez López, A. L., y López Uribe, A. (2014). *Criterios de caducidad de medicamentos*. Capítulo 18. Farmacología general. Una guía de estudio.
- Morachis-Valdez, G., Dublán-García, O., López-Martínez, L. X., Galar-Martínez, M., Saucedo-Vence, K., y Gómez Oliván, L. M. (2015). Chronic exposure to pollutants in Madín reservoir (Mexico) alters oxidative stress status and flesh quality in the common carp *Cyprinus carpio*. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 22(12), 9159-9172.
- Sistema Nacional de Gestión de Residuos de Envases y Medicamentos, A. C., disponible en: <https://www.singrem.org.mx/>. Consultado: 30 de julio de 2024.
- Vicentin, E., Gago, L. F., & Magnatti, C. (2021). Farmacontaminación: El lado B de los medicamentos. *Revista Argentina de Salud Pública*, 13, 101-110.
- Vieno, N., Hallgren, P., Wallberg, P., Pyhälä, M., Zandaryaa, S., & Baltic Marine Environment Protection Commission. (2017). *Pharmaceuticals in the aquatic environment of the Baltic Sea region: A status report*. (Vol. 1). UNESCO Publishing.

¿Los maíces nativos mexicanos son una alternativa para la elaboración de alimentos funcionales?

LUIS ALFONSO HERNÁNDEZ VILLASEÑOR*

LUIS MIGUEL ANAYA ESPARZA*

Resumen

México es el centro de origen de uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, el maíz. En nuestro país se han identificado 64 diferentes razas de maíces, de las cuales 59 son consideradas nativas y cinco descritas en otra región del mundo. La principal característica de los maíces nativos es su color llamativo, que incluye maíces rojos, azules, ahumados, amarillos, naranjas y azules, entre otros. Desafortunadamente, la principal desventaja de los maíces nativos frente a los maíces híbridos es su bajo rendimiento en producción; lo anterior limita su uso para la elaboración de tortilla, una industria de gran relevancia en nuestro país. En este sentido, la producción de los maíces nativos casi siempre se lleva a cabo en pequeñas cantidades mayormente de manera local para los mismos productores, por gusto, para consumo propio o bien para conservar la herencia o recuerdos de sus abuelos o padres. De estos maíces se elaboran tortilla, tamales, atoles, pozole, tostadas y elote, productos que podemos encontrar en mercados y tianguis, pero no de manera industrial. Sin embargo,

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos.

estos maíces pigmentados son fuente importante de proteína, carbohidratos, fibra dietética, grasas, vitaminas y minerales; así como de compuestos bioactivos como fenoles y antocianinas, compuestos responsables de los colores (amarillos, rojos, negros y azules) en los maíces nativos. Estos maíces pueden tener gran aplicación en la industria de los alimentos funcionales debido a sus propiedades nutricionales, fisicoquímicas y tecnológicas; así como la presencia de diversos fitoquímicos que ofrecen beneficios extras a la salud de los consumidores.

Alimentos funcionales

En la década de los ochenta, con las nuevas políticas públicas establecidas en Japón para el desarrollo e investigación de alimentos que pudieran mejorar la salud del consumidor, se creó el concepto de alimentos funcionales; una década después, en Estados Unidos también se comenzó a hablar acerca de los alimentos funcionales, los cuales son aquellos alimentos que aparte de las vitaminas, minerales y aportes nutricionales básicos indispensables, también son biológicamente activos y desempeñan múltiples funciones fisiológicas específicas en el organismo, lo que genera un potenciador en el metabolismo, en la expresión genética, y reducción en el estrés oxidativo, llegando a establecer un mejor estado a la salud de los consumidores. Asimismo, estos alimentos tienen la función de reducir y prevenir la presencia de otras enfermedades (síndrome metabólico, obesidad, síndrome del intestino irritado, entre otros); no obstante, es importante señalar que estos alimentos deben ser considerados dentro de una dieta sana y equilibrada (Fuentes-Barreiro *et al.*, 2015; Sumaya-Martínez *et al.*, 2023).

En la actualidad, en muchas partes del mundo la demanda de estos alimentos ha ido en aumento, esto debido a la aparición de enfermedades crónicas no transmisibles (diabetes, hipertensión y enfermedades cardíacas), lo que ha llevado a la presencia de estos alimentos en supermercados o tiendas de conveniencia. La lista de alimentos funcionales es muy extensa, en la Tabla 1 se mencionan algunos alimentos comerciales con potencial funcional, los cuales pueden llegar a ser naturales (provenientes de plantas y animales) o ser enriquecidos por medio de la industria alimentaria (Enríquez-Estrella *et al.*, 2022).

Tabla 1. Cinco alimentos con potencial funcional disponibles en el mercado

<i>Alimento</i>	<i>Componente funcional</i>	<i>Efectos en la salud</i>
Leches fermentadas	Ácidos grasos, omega-3, (EPA y DHA) y ácido oleico	Reducen el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y la aparición de cáncer.
Pan	Ácido fólico	Reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares y malformaciones neuronales.
Huevo enriquecido	DHA	Ayuda al buen funcionamiento del cerebro y malformaciones neuronales.
Alfalfa, espinacas y soja	Saponinas	Cuenta con capacidad anti cariogénicas y ayuda a reducir el colesterol en la sangre.
Margarinas	Fitoesteroles	Ayuda a reducir el colesterol en la sangre.

DHA: ácido docosahexaenoico. EPA: ácido eicosapentaenoico.

Fuente: Aranceta *et al.* (2003); Rodríguez *et al.* (2011).

Tal como se ha señalado anteriormente, dentro de la naturaleza existe un sinnúmero de productos de origen vegetal que contienen sustancias benéficas para el ser humano, entre ellas el maíz nativo mexicano (*Zea mays*), el cual se caracteriza por contener compuestos bioactivos.

Antecedentes del maíz

El centro de origen de esta planta ha sido ampliamente discutido durante mucho tiempo, pero se ha podido comprobar que su centro de origen es en Mesoamérica, de forma más específica en México, cerca de la cuenca de Balsas al suroeste del país, abarcando los estados de Tlaxcala, México, Oaxaca, Puebla, Morelos, Guerrero, Jalisco y Michoacán (Torres-Morales *et al.*, 2022). El maíz fue domesticado hace aproximadamente cinco mil años y actualmente se cataloga dentro de los cultivos pilares para la alimentación humana a nivel mundial, junto al arroz y el trigo (Rivas, 2021). En México, el maíz es parte del

patrimonio sociocultural, ya que forma parte de un legado ceremonial ancestral, agrícola y gastronómico (Barrera-Guzmán *et al.*, 2020).

En el continente americano existe una gran diversidad de maíz nativo, tan sólo en América Latina han sido descritas cerca de 220 diferentes razas de maíces. Mientras que en México se han reportado alrededor de 64 razas, de las cuales 59 son nativas y las cinco restantes fueron descritas en otro país, pero también encontradas en el territorio mexicano (Tabla 2); cada una de estas razas fueron clasificadas con base en caracterizaciones morfológicas específicas que presentaban, de las cuales se conformaron siete grupos principales (cónicos, maduración tardía, Sierra de Chihuahua, ocho hileras, tropicales precoces, dentados tropicales y chapalote). A partir de las 64 razas nativas mexicanas, se han realizado una gran cantidad de accesiones (híbridos nativos) que tienen como objetivo principal resguardar su diversidad y potenciar su uso (González-Martínez *et al.*, 2019; Conabio, 2020a).

Tabla 2. Razas de maíz reportadas en México

	Amarillo montaña	Ancho	Apachito	Arrocillo	Azul
Blando		Bofo	Bolita	Cacahuacintle	Celaya
Chalqueño		Chapalote	Chapaneco	Chiquito	Comiteco
Complejo		Conejo	Cónico	Cónico norteño	Cosmomatepec
Serrano de Jalisco					
Cristalino de Chihuahua		Cubano amarillo	Dulce	Dulcillo del noroeste	Dzit Bacal
Elotero de Sinaloa		Elotes cónicos	Elotes de occidente	Gordo	Harinoso de ocho
Jala		Mixeño	Mixteco	Motozinteco	Mushito
Mushito de Michoacán		Nal-Tel	Nal-Tel de altura	Negríto	Negro de Chimaltenango
Olotón		Olotillo	Onaveño	Palomero de Chihuahua	Palomero de Jalisco
Palomero toluqueño		Pepitilla	Quicheño	Ratón	Reventado
Serrano		Serrano mixe	Tabilla de ocho	Tabloncillo	Tabloncillo perla
Tehuá		Tepecintle	Tuxpeño	Tuxpeño del norte	Uruapeño
Vandeño		Zamorano amarillo	Zapalote chico	Zapalote grande	

Fuente: Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (2023).

El maíz nativo o criollo está conformado por una diversidad de maíces que a lo largo del tiempo han sido cultivados, resguardados y mejorados mediante la selección natural de semilla entre los mismos agricultores, los cuales han logrado adaptarse a regiones áridas, tropicales y húmedas y cultivándose en diversas altitudes (a nivel del mar y hasta los 3,400 msnm) (Pérez-García, 2023). Además, se han vuelto resistentes a plagas y enfermedades, logrando distribuirse por todo el país (Figura 1). Sin embargo, la conservación de los maíces nativos se encuentra amenazada debido principalmente a la liberación y la alta demanda comercial y productividad de maíces creados por grandes compañías transnacionales (Caballero *et al.*, 2023).

Figura 1. Distribución de las 64 razas de maíces nativos mexicanos



Fuente: Conabio (2020b).

Importancia de los maíces nativos mexicanos

Entre las características principales de los maíces nativos se encuentra la diversa gama de colores, ya que se presenta maíz de colores convencionales, tales como el blanco y amarillo, de la misma forma se pueden encontrar maíces de totalidades rojas, magentas, azules, negros, morados y verdes, entre otros (Figura 2). Estos maíces presentan características potencialmente benéficas para el

sector alimentario, farmacéutico e industrial, gracias a los diversos compuestos bioactivos que contienen, propiedades antioxidantes, ácidos grasos, contenido en fibra, entre otros compuestos bioactivos que pueden llegar a estar presentes en el grano, hojas o mazorca (Pedroza-Ortega, 2023).

Algunas accesiones de razas de maíces nativos que han sido estudiados en diversas partes del mundo han reportado la presencia de diversos compuestos bioactivos. Por ejemplo, en la estructura del endospermo se ha reportado la presencia de ácidos fenólicos (ferúlico, gálico, *p*-cumárico y sinápico), en la parte del pericarpio, expertos han reportado ácido ferúlico, mientras que en el resto del grano han sido localizados algunos flavonoides tales como antocianinas, catequina, quercetina y kaempferol (Martínez, 2018; Teplitz et al., 2023). Adicionalmente, diversos estudios han demostrado que el olote del maíz morado contiene antocianinas y flavonoides en bajas concentraciones (Rabanal y Medina, 2022).

Es importante señalar que el contenido total de los compuestos bioactivos como flavonoides y fenoles puede ser diferente entre genotipos, condiciones climáticas, agronómicas regiones, entre otros factores, ya que en maíces de color rojo, amarillo, morado y azul han reportado porcentajes variados de compuestos (Martínez, 2018).

Gracias a los avances en la investigación en los maíces nativos, se han podido considerar como alimento funcional, elaborando tortillas a partir de harinas de maíz azul nixtamalizado, con altos compuestos bioactivos (Menchaca, 2016); también se ha formulado jugo de maíz morado con aporte de compuestos antioxidantes (Hernández, 2021); de la misma forma se han realizado tortillas con maíz morado enriquecidas con harina de chía con alto valor vitamínico y capacidad antioxidante, las cuales se desarrollaron pensando en personas de la tercera edad (León et al., 2021).

Figura 2. Diversidad de colores de maíces nativos mexicanos



Fuente: Así es México (2020).

Finalmente, en el grupo de investigación se están investigando las propiedades tecno-funcionales, nutricionales, fisicoquímicas, compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante en diferentes accesiones de maíces nativos. Recientemente, al evaluar las propiedades en maíces de color azul (azul México, azul Oaxaca y azul Chihuahua), se demostró que además de los componentes bioactivos presentes en ellos (fenoles solubles, flavonoides totales y antocianinas totales) y su capacidad antioxidante, estos maíces también presentaron una composición nutrimental (carbohidratos, ceniza, grasas, humedad y proteína), propiedades fisicoquímicas (actividad de agua y sólidos solubles totales) y tecnofuncionales (solubilidad en agua, absorción de agua y capacidad emulsificante) óptimas para utilizarse como alternativa en la industria alimentaria para elaborar o enriquecer otros alimentos funcionales (Anaya-Esparza *et al.*, 2024).

Conclusión

De acuerdo con los estudios que se han realizado durante los últimos años se puede concluir que los maíces nativos mexicanos son una alternativa como alimento funcional, además de utilizarlos como complementos para el desarrollo de otros alimentos, ya que ofrecen un alto valor nutrimental, así como diversos beneficios para la salud y una mejor calidad de vida en las personas que los consumen.

Lecturas recomendadas

- Anaya-Esparza, L. M., Gómez-Rodríguez, V. M., Ramírez-Vega, H., Hernández-Estrada, S., Hernández-Villaseñor, L. A., y Villagrán-de la Mora, B. Z. (2024). Propiedades nutricionales, fisicoquímicas, funcionales, compuestos fenólicos y actividad antioxidante de harinas de tres accesiones de maíz azul nativo de México. *Ingeniería: Ciencia, Tecnología e Innovación*, 11(1), 23-39.
- Aranceta, J., Serra, L., Mataix, J., Gil, A., Fontecha, J., Muriana, F. G., Mata, P., Entrala, A., Martínez, J. R., Boza, J., Baró, L., y Urialde, R. (2003). *Guía de alimentos funcionales*. Recuperado de: <https://www.fesnad.org/index.php?seccion=dinamico&subSeccion=documento&idF=4>
- Así es México. [abcmxdigital]. (2020, 21 de mayo). *Ésta es la diversidad de colores de nuestro maíz*. [Imagen adjunta]. [Publicación]. Facebook. <https://www.facebook.com/photo/?fbid=154253439475299&set=a.103438617890115>

- Barrera-Guzmán, L. A., Legaria-Solano, J. P., y Ortega-Paczka, R. (2020). Diversidad genética en poblaciones de razas mexicanas de maíz. *Rev. fitotec. Mex.*, 43(1), 121-125.
- Caballero, J. C., Pizaña, H. A. González, A. A., Núñez, E., Aguilar, F., y Ovando, E. (2023). Composición morfológica y rendimientos de maíces nativos sin uso de agroquímicos en Chiapas, México. *Siembra*, 10(2).
- Conabio. (2020a). *Razas de maíz de México*. Recuperado de: <https://www.biodiversidad.gob.mx/diversidad/alimentos/maices/razas-de-maiz>
- . (2020b). *Proyecto global de maíces. Visualización interactiva de datos*. Recuperado de: <https://conabio.shinyapps.io/conabio-pgmaices1/>
- Enríquez-Estrella, M., Torres-Caicedo, L., Monar-Vega, K., y Uvidia-Cavadiana, H. (2022). Alimentos funcionales, la tendencia de consumo del siglo xx. *RECIENA*, 3(2), 10-19.
- Fuentes-Barreiro, L., Acevedo-Correa, D. y Gelvez-Ordóñez, V. M. (2015). Alimentos funcionales: Impacto y retos para el desarrollo y bienestar de la sociedad colombiana. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 13(2), 140-149.
- González-Martínez, J., Vanoye-Eligio, V., Chacón-Hernández, J. C., y Rocandio-Rodríguez, M. (2019). Diversidad y caracterización de maíces nativos de la Reserva de la Biósfera “El Cielo”, Tamaulipas, México. *CienciaUAT*, 14(1).
- Hernández, M. C. (2021). Bebida a base de maíz morado (*Zea mays*), compuestos bioactivos y efecto antioxidante en un modelo *in vivo*. (Tesis de maestría). Universidad autónoma de Nuevo León.
- León, J. R., Gutiérrez, R., Reynoso, R., Milán, J., Perales, J. X. K., Cuevas, E. O., y Reyes, C. (2021). Tortillas preparadas con harinas extruidas de maíz azul y semillas de chía como una opción de alimento nutritivo y nutracéutico. *Agrociencia*, 55(6), 487-506.
- Martínez, R. (2018). *Compuestos nutricionales, polifenoles y actividad antioxidante en granos de maíces pigmentados nativos de Oaxaca*. (Tesis de maestría). Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional-Unidad Oaxaca.
- Menchaca, M. (2016). *Compuestos bioactivos de maíz (Zea mays L.) criollo azul de la raza elotero de Sinaloa. Efecto del procesamiento sobre su actividad antioxidante*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Pedroza-Ortega, L. O. (2023). Alimento ancestral y de subsistencia: Discurso y control del cultivo y consumo de maíz en México, 1937-1961. *Historia y Memoria*, 27, 135-175.

- Pérez-García, O. (2023). Diversidad biocultural ligada a maíces nativos del estado de Puebla, México. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 10(2), 1-8.
- Rabanal, M., y Medina, A. (2022). Estudio comparativo de las características agronómicas y químicas de tres cultivares de maíz morado en Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(6), 953-964.
- Rivas, R. D. (2021). El maíz, fuente de cultura mesoamericana. *Revista de Museología Kóot*, 11(12), 44-54.
- Rodríguez, J. M., Aranceta, J., Blay, G., Echeverría, F. J., Gil, I., Hernández, M., Iglesias, J. R., y López, M. L. (2011). *Atención primaria. Guía de buena práctica clínica en alimentos funcionales*. Madrid, España. Recuperado de: [//efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cgcom.es/sites/main/files/mig/gbpc_alimentos_funcionales.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.cgcom.es/sites/main/files/mig/gbpc_alimentos_funcionales.pdf)
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2023). *Maíces nativos, patrimonio biológico, agrícola, cultural y económico*. Recuperado de: <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/un-apoyo-para-agricultores-de-maices-nativos>
- Sumaya-Martínez, M. T., Rubio-García, A. B., Ávila-Villarreal, G. M., Romero-Chávez, M. M., y Jiménez-Ruiz, E. I. (2023). Actividad biológica de tres plantas medicinales y su uso potencial como ingrediente en alimentos funcionales. *Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica*, 11(62), 36-53.
- Teplixtle, V. V., Guerra, D., Reyes, B., y González, M. R. (2023, 07 y 08 de septiembre). *Compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de los granos molidos de maíz morado (Zea mays L.)*. [Memorias]. Congreso Internacional de Investigación en Ciencias Básicas Agronómicas. Texcoco, México. Recuperado de: <https://dicea.chapingo.mx/wp-content/uploads/publicaciones/congreso-ciema/12-congreso-memoria-mesa-4.pdf#page=25>
- Torres-Morales, B., Rocandio-Rodríguez, M., Santacruz-Varela, A., Córdova-Téllez, L., Coutiño-Estrada, B., y López-Sánchez, H. (2022). Diversidad morfológica y agronómica de siete razas de maíz del estado de Chiapas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 13(4), 687-699.

¿Cómo los compuestos bioactivos del maíz nativo pigmentado pueden beneficiar a nuestra salud?

SALVADOR HERNÁNDEZ ESTRADA*

LUIS MIGUEL ANAYA ESPARZA*

Resumen

El maíz, cuyo nombre científico es *Zea mays*, con centro de origen en México, es un cultivo que se ha usado desde la antigüedad por nuestros ancestros; no obstante, en la actualidad el maíz tiene gran relevancia para la cocina mexicana. De manera comercial hay mucho maíz híbrido de color amarillo y blanco debido a los altos rendimientos productivos que presentan. Por otro lado, a lo largo del país se tienen identificadas 64 razas de maíces nativos, caracterizados por sus colores llamativos que van desde el rojo, azul, negro, amarillo, naranja y ahumado, entre otros.

Diversos estudios de las diferentes razas de maíz han demostrado que los maíces pigmentados poseen algunas características que los hacen un alimento funcional, es decir que ejercen un impacto positivo en la salud del consumidor, adicional a la nutrición, esto debido a la presencia de compuestos bioactivos que pueden ayudar a reducir el riesgo de contraer diversas enfermedades crónicas no transmisibles como la hipertensión arterial, la diabetes, y eventos cardiovasculares.

* Centro Universitario de Los Altos.

Los maíces nativos pigmentados contienen diferentes tipos de metabolitos secundarios o fitoquímicos, incluyendo ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y carotenoides, por mencionar algunos. Estos compuestos han demostrado tener capacidad antioxidante capaz de evitar la formación de radicales libres en nuestro cuerpo, esto reduce el estrés oxidativo en las células, promoviendo un efecto saludable en los consumidores.

Introducción

Se cree que el cultivo del maíz inició aproximadamente hace 10,000 años a. C. La evidencia más antigua que respalda este acontecimiento es de aproximadamente 6,250 años y ésta fue descubierta en la cueva de Guilá Naquitz, la cual se encuentra ubicada en el estado de Oaxaca, México, a sólo unos kilómetros de Mitla (Aserca, 2018).

El maíz es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas, cuyo nombre científico es *Zea mays*. En Mesoamérica, los nahuas llamaban al maíz “Centli”. A medida que se expandió por todo el continente americano, el cultivo de maíz recibió varios nombres como: “elote”, “corn”, “jojoto”, “milho” y “choclo”, entre otros. No obstante, al llegar los españoles se adoptó el nombre de “maíz”, como actualmente lo conocemos (Cazal y Flores, 2024).

En la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural se menciona que en México existen 64 razas de maíz identificadas, de las cuales 59 son consideradas nativas. Éstas se encuentran agrupadas por características que comparten en común, que incluye orden morfológico, genético o ecológico e historia de su cultivo, lo que permite que se puedan diferenciar entre sí (Sagarpa, 2023).

Los maíces nativos se caracterizan por sus colores llamativos, los cuales son de gran importancia en las industrias textiles, alimentarias y farmacéuticas, ya que los pigmentos de estos maíces se asocian con la presencia de compuestos bioactivos o fitoquímicos, entre los que destacan las antocianinas, polifenoles, carotenoides, flavonoides, compuestos que tienen propiedades antioxidantes y pueden ayudar considerablemente a la salud del consumidor (Mendoza-Mendoza *et al.*, 2017).

Clasificación de los compuestos bioactivos

Los compuestos bioactivos son fitoquímicos producidos por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa frente a plagas o depredadores. Sin embargo, al ser consumidos por los humanos, se puede obtener un efecto benéfico para su salud (Liu *et al.*, 2022). En la Tabla 1 se presentan algunos de los compuestos fitoquímicos reportados en maíces pigmentados.

Tabla 1. Compuestos fitoquímicos reportados en maíz

Compuestos bioactivos	
Terpenoides	Fenólicos
β -caroteno	Ácido ferúlico
β -criptoxantina	Ácido p-cumárico
Luteína	Ácido p-hidroxibenzoico
Zeaxantina	Cianidina-3-O- β -glucosido
	Catequina
	Kaempferol
	Quercetina

Carotenoides

Los carotenoides tienen una estructura básica de 40 átomos de carbono y dobles enlaces conjugados con una conformación de ocho unidades de isopreno. En este grupo de compuestos podemos encontrar al licopeno, β -caroteno, α -caroteno, los cuales forman parte de los licopenos y se encuentran también la luteína, criptoxantina y zeaxantina, que componen a las xantinas, son compuestos con diversas funciones biológicas con actividad antioxidante en el organismo; al no poder sintetizarlos, éstos deben ser ingeridos a través de la dieta diaria (Calvo-Carrillo *et al.*, 2023). En el maíz se han reportado algunos carotenoides, entre los que se encuentran el β -caroteno, β -criptoxantina, la luteína y la zeaxantina (Zurak *et al.*, 2021). Cabe destacar que estos compuestos se asocian a colores naranja-amarillo.

Ácidos fenólicos

Los ácidos fenólicos pertenecen a un grupo de metabolitos secundarios los cuales parten del ácido shikímico y del benzoico, éstos pueden clasificarse en dos grupos como lo son los ácidos hidroxicinámicos e hidroxibenzoico. Los ácidos fenólicos más importantes en el grano de maíz son el ferúlico, p-cumárico y el ácido p-hidroxibenzoico (Horbat *et al.*, 2020). Estos compuestos registran actividad antioxidante debido a su estructura química, la cual está conformada por un anillo aromático y presenta residuos de carboxilo, los cuales están unidos a los residuos del grupo hidroxilo (Spiegel *et al.*, 2020).

Flavonoides

Los flavonoides son un grupo de sustancias naturales con una estructura de múltiples grupos fenol que contienen uno o más grupos hidroxilo. Los flavonoides se clasifican de acuerdo con la posición de anillo bencénico en la estructura, como neoflavonoides (anillo bencénico en posición C4), isoflavonas (anillo bencénico en posición C3) y flavonas, flavonoles, flavanonas, antocianinas, catequinas y chalconas (anillo bencénico en posición C2). Algunas moléculas de flavonoides, como lo son las antocianidinas se diferencian de las demás por tener cambios químicos en el anillo de pirano, en el cual hay una modificación entre el C2 y el átomo de oxígeno (Peniche-Pavía *et al.*, 2022). Los flavonoides los podemos encontrar en frutas, verduras, granos, flores, bebidas, té y vinos. En el maíz se ha reportado la presencia de catequina, kaempferol y quercetina (Salinas-Moreno *et al.*, 2017). Algunos de estos compuestos registran actividades biológicas, que incluyen propiedades antioxidantes, antimutagénicas, antiinflamatorias y anticancerígenas, lo que hace que este tipo de compuestos exhiban alto potencial para aplicaciones en la industria farmacéutica, cosmética y de alimentos (Dias *et al.*, 2021).

Antocianinas

Las antocianinas son glucósidos de agliconas, también conocidas como antocianidinas. Son el grupo mayoritario de los pigmentos fenólicos, se encuentran en frutos rojos, tubérculos, vino tinto y algunos cereales, entre ellos el maíz pigmentado. Las antocianinas son los compuestos responsables del color azul-púrpura.

Particularmente, la cianidina-3-O- β -glucósido, la cual es responsable del 70% de la intensidad del color (Medina-Hoyos *et al.*, 2020). Estas sustancias tienen propiedades antioxidantes que pueden mejorar la salud de los consumidores al reducir la incidencia de enfermedades coronarias. Asimismo, hay evidencia científica de sus propiedades anticancerígenas, acción antiinflamatoria, prevención de déficits de memoria, funciones neuroprotectoras y efectos citoprotectores y vasoprotector (Rabanal-Atalaya y Medina-Hoyos, 2021).

Conclusiones

Los maíces nativos pigmentados contienen compuestos bioactivos como ácidos fenólicos, flavonoides, antocianinas y carotenoides, los cuales han demostrado actividades biológicas *in vitro* e *in vivo*. Por lo que el consumo de estos maíces puede contribuir a prevenir o reducir el riesgo de padecer enfermedades crónicas no transmisibles como la diabetes, hipertensión arterial y cardiopatías. Asimismo, los compuestos de los maíces pigmentados tienen el potencial para utilizarse en aplicaciones en la industria de alimentos funcionales y nutracéuticos, así como aplicaciones farmacéuticas y cosméticas.

Lecturas recomendadas

- Aserca. (2018). Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios. <https://www.gob.mx/aserca/articulos/conoces-el-origen-del-maiz?idiom=es#:~:text=Se%20considera%20que%20el%20ma%C3%ADZ,a%20unos%20kil%C3%B3metros%20de%20Mitla>
- Calvo-Carrillo, M. C., Coronel, F., y López, O. X. (2023). Carotenoides en ate de vegetales. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 249-256.
- Cazal F. A., y Flores V., A. V. (2024). El atole de maíz nuevo como parte del sistema alimentario local de Quintana Roo: Soberanía alimentaria y patrimonio biocultural de México. *Sosquua*, 6(1), 11-42.
- Dias, M. C., Pinto, D. C., & Silva, A. M. (2021). Plant flavonoids: Chemical characteristics and biological activity. *Molecules*, 26(17), 5377.
- Horvat, D., Šimić, G., Drezner, G., Lalić, A., Ledenčan, T., Tucak, M., ... & Zdunić, Z. (2020). Phenolic acid profiles and antioxidant activity of major cereal crops. *Antioxidants*, 9(6), 527.

- Liu, S., Lou, Y., Li, Y., Zhang, J., Li, P., Yang, B., y Gu, Q. (2022). Revisión de las características fitoquímicas y nutricionales y las aplicaciones alimentarias de las frutas de Citrus L. *Frontiers in Nutrition*, 9, 968604.
- Medina-Hoyos, A.; Narro-León, L.; & Chávez-Cabrera, A. (2020). Cultivo de maíz morado (*Zea mays* L.) en zona altoandina de Perú: Adaptación e identificación de cultivares de alto rendimiento y contenido de antocianina. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 291-299. doi: 10.17268/sci.agropecu.2020.03.01
- Mendoza-Mendoza, C. G., Mendoza-Castillo, M. C., Delgado-Alvarado, A., Castillo-González, F., & Kato-yamakake, T. Á. (2017). Antocianinas totales y parámetros de color en líneas de maíz morado. *Fitotecnia Mexicana*, 40(4), 471-479.
- Peniche-Pavía, H. A., Guzmán, T. J., Magaña-Cerino, J. M., Gurrola-Díaz, C. M., & Tiessen, A. (2022). Biosíntesis, regulación y relevancia para la salud humana de flavonoides del maíz: Una revisión. *Moléculas*, 27(16), 5166.
- Rabanal-Atalaya, M., y Medina-Hoyos, A. (2021). Análisis de antocianinas en el maíz morado (*Zea mays* L.) del Perú y sus propiedades antioxidantes. *Terra Latinoamericana*, 39, e808. Epub 05 de abril de 2021. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.808>
- Salinas-Moreno, Y., García-Salinas, C., Ramírez-Díaz, J. L., & Alemán-de la Torre, I. (2017). Compuestos fenólicos en granos de maíz y sus productos nixtamalizados. *Compuestos Fenólicos-fuentes naturales, Importancia y Aplicaciones*, 8, 215-232.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa, 2023). <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/razas-de-maiz-riqueza-del-campo-mexicano>
- Spiegel, M., Kapusta, K., Kołodziejczyk, W., Saloni, J., Żbikowska, B., Hill, G. A., & Sroka, Z. (2020). Actividad antioxidante de ácidos fenólicos seleccionados: Ensayo de poder antioxidante reductor férrico y análisis QSAR de las características estructurales. *Molecules*, 25(13), 3088.
- Zurak, D., Grbeša, D., Duvnjak, M., Kiš, G., Međimurec, T., y Kljak, K. (2021). Contenido de carotenoides y bioaccesibilidad en híbridos comerciales de maíz. *Agricultura*, 11(7), 586.

La nueva sofística

HUBERT MARRAUD*

Resumen

Este escrito es una reflexión, basada en la propia experiencia, sobre qué es la filosofía aplicada y, dentro de ésta, el peritaje lógico-argumentativo. Una peritación lógico-argumentativa de un documento consiste en un análisis lógico de las razones expuestas y examinadas en él, que identifique sus compromisos, explícitos e implícitos, sus presupuestos y su coherencia. Ese análisis se plasma en un informe pericial en el que se exponen de forma razonada las conclusiones sobre la calidad de las argumentaciones del documento peritado. Es imprescindible que el informe sea fácilmente comprensible y convincente para un público sin conocimientos de teoría de la argumentación y, más en general, de filosofía.

Introducción

Mientras preparaba mi intervención de hoy, he pensado que los sofistas, después de todo, hacían filosofía aplicada, y he querido reflejar esta idea en un título deliberadamente provocador. Si los sofistas hacían filosofía aplicada, no hay nada extraño en que se ganaran la inquina de Platón, un aristócrata que ya tenía resueltas sus necesidades materiales y aspiraba al conocimiento superior.

* Correo electrónico: hubert.marraud@uam.es

La opinión de Platón contrasta con la de Eurípides (Hipólito 921), para quien el hábil sofista es el que enseña a los demás a pensar bien.

Voy a dividir mi charla en cuatro partes:

- Quién soy yo y qué hago aquí,
- Qué es filosofía aplicada,
- Qué tipo de filosofía aplicada hago, y
- Cómo potenciar la filosofía aplicada.

Quién soy yo

Empezando por mi formación, soy licenciado y doctor en filosofía. Desde 1984 me gano la vida dando clases de filosofía, lo que, desde luego, no puede considerarse un ejercicio de filosofía aplicada, aunque sí una actividad que muestra una cierta utilidad de la filosofía.

Mis intereses filosóficos han ido cambiando a lo largo de mi carrera. Al principio me interesaban la lógica formal y la filosofía del lenguaje, y desde hace unos 20 años me dedico, sobre todo, a la teoría de la argumentación. La teoría de la argumentación es un campo de estudios interdisciplinar que estudia las prácticas argumentativas, es decir, las prácticas en las que pedir, dar y examinar razones ocupa un lugar central. Mi dedicación a la teoría de la argumentación me ha llevado a interesarme y estudiar por las prácticas filosóficas (por otros nombres, asesoría filosófica o, incluso, filosofía práctica).

En parte la evolución de mis intereses filosóficos, y mi conversión en un teórico de la argumentación (o, más exactamente, en un analista de argumentaciones) ha sido el resultado de mi deseo de hacer algo útil, algo que “sirva para algo”. Mis habilidades como analista de argumentos me han permitido actuar como perito, analizando argumentaciones para empresas energéticas y de ingeniería y bufetes de abogados, como contaré en la última parte de mi charla. Mi desempeño como perito es una *praxis*, en el sentido de que es una actividad teóricamente fundada, de hecho filosóficamente fundada.

Qué es la filosofía aplicada

Con la convocatoria, hemos recibido una serie de preguntas y peticiones. Ordenadas, y ligeramente reformuladas en algunos casos, según mi propio criterio y para mis propósitos, son:

- a. ¿Qué entiende por *filosofía aplicada* y qué tipos de enfoques presenta?
- b. ¿Qué habilidades se adquieren con la filosofía aplicada pero no con la filosofía teórica? ¿Cuál es la relación entre la filosofía teórica y la filosofía aplicada?
- c. ¿Qué especialidad de la filosofía práctica cultiva usted?
- d. ¿Cuál es su enfoque y su metodología?
- e. ¿Para qué sirve su práctica de la filosofía?
- f. ¿Qué propone para aumentar la presencia de la filosofía práctica en las instituciones?
- g. ¿Cómo lograr el reconocimiento institucional de la filosofía práctica?

En este apartado me propongo responder a las dos primeras, dejando las tres siguientes para el tercer apartado, y la sexta para el cuarto y último apartado.

Debo empezar señalando que no me gusta la denominación “filosofía práctica”, porque descansa en una distinción entre filosofía práctica (básicamente, ética, filosofía política y estética) y filosofía teórica (básicamente, teoría del conocimiento y metafísica), que a su vez remite a una oposición entre el razonamiento teórico y el razonamiento práctico que rechazo. No creo que razonemos de una manera cuando discutimos qué hacer y de otra cuando discutimos qué creer. Mi posición, si me permiten la simplificación, es que siempre estamos discutiendo qué hacer, así que me declaro abiertamente pragmata.

“Filosofía aplicada” me parece una etiqueta preferible, aunque no exenta de inconvenientes o pegas, que es parte del estereotipo del filósofo buscar. Al parecer, en el siglo V a. C. la palabra *φιλόσοφος* se empleaba sobre todo en un sentido negativo, para insultar a alguien, con el significado de sabihondo (Ramírez Vidal, 2016: 384). Pero volviendo a la denominación “filosofía aplicada”, esta denominación sugiere que la filosofía es una especie de saber teórico que puede aplicarse para resolver problemas. Bueno, no estoy muy seguro de que la filosofía sea siempre una teoría en este sentido. Recordemos lo que decía Wittgenstein (TLP 4.112):

El objetivo de la filosofía es la clarificación lógica de los pensamientos.

La filosofía no es una teoría, sino una actividad.

Una obra filosófica consta esencialmente de elucidaciones.

El resultado de la filosofía no son “proposiciones filosóficas”, sino la clarificación de las proposiciones.

La filosofía debe clarificar y delimitar de manera nítida los pensamientos que, de otro modo, se presentan, por así decirlo, envueltos en brumas.

La descripción de la filosofía de Wittgenstein conviene a mi modalidad de práctica filosófica, que consiste, parafraseando a Wittgenstein, en “clarificar y delimitar de manera nítida” los argumentos que “se presentan, por así decirlo, envueltos en brumas”.

La pregunta general que está detrás de estas jornadas es: “¿para qué sirve la filosofía?” o, por no dar nada por sentado, “¿sirve para algo la filosofía?”. Es una pregunta recurrente, que surge cada vez que se plantea una reforma del *currículum* del bachillerato (que, invariablemente, reduce la presencia de la filosofía). Hay dos tipos de respuesta. La primera es que la filosofía no sirve para nada, y a mucha honra. Bertrand Russell escribió, en este sentido, en 1935 un ensayo titulado *Conocimientos inútiles*, que publicó en español la *Revista de Occidente* en 1936, y que también pueden encontrar en la recopilación *Elogio de la ociosidad y otros ensayos*, y que les recomiendo. La idea es que el conocimiento, y la filosofía como parte de él, no es sólo ni fundamentalmente un medio para conseguir fines relacionados con “la vida económica de la comunidad”, sino también y sobre todo un bien en sí mismo.

Quizá la ventaja más importante del conocimiento “inútil” es que favorece un estado mental contemplativo. Hay en el mundo demasiada facilidad, no sólo para la acción sin la adecuada reflexión previa, sino también para cualquier clase de acción en ocasiones en que la sabiduría aconsejaría la inacción. [...] El hábito de encontrar más placer en el pensamiento que en la acción es una salvaguarda contra el desatino y el excesivo amor al poder, un medio para conservar la serenidad en el infortunio y la paz de espíritu en las contrariedades. Es probable que, tarde o temprano, una vida limitada a lo personal llegue a ser insoportablemente dolorosa; sólo las ventanas que dan a un cosmos más amplio y menos inquietante hacen soportables los más trágicos aspectos de la vida.

Esta línea de defensa descansa, a mi juicio, en una nueva versión de la oposición razonamiento teórico *versus* razonamiento práctico, así que, siendo coherente, no puedo comprarlo.

La segunda línea de respuesta a la pregunta “¿sirve para algo la filosofía?” es que la filosofía sirve para desarrollar el pensamiento o el espíritu crítico. Como muestra de esta línea argumental, un botón:

Con la actual “Ley Celaá”, la LOMLOE, no recupera la asignatura de Ética en 4º de la ESO que la sustituye por Valores Cívicos y Éticos pero devuelve la obligatoriedad a la Historia de la Filosofía en Bachillerato. Se recorta la carga

horaria de la asignatura y recortar la filosofía significa minimizar la enseñanza del pensamiento crítico y empobrecer la democracia.

La filosofía sirve sin duda para cuestionar lo que nos rodea y despertar el pensamiento crítico, algo muy necesario para la construcción de toda sociedad democrática.

Pedro Benzal Molero, *¿Para qué sirve la filosofía?* Granada Hoy 18/12/2021, https://www.granadahoy.com/opinion/tribuna/para-que-sirve-filosofia-Benzal_0_1638136959.html

La verdad es que este tipo de respuesta puede parecer —y a muchos nos parece— un poco prepotente y poco matizada. ¿El estudio de la matemática, la biología, la historia o de la sociología no sirve también para cuestionar lo que nos rodea y despertar el pensamiento crítico? ¿Los no filósofos son unos borregos con tendencias totalitarias? Imagino que Fátima Álvarez puede decirnos muchas cosas a este respecto.

Lo que tienen en común las dos respuestas-tipo a la pregunta “¿sirve para algo la filosofía?”, es que inciden en los efectos de la filosofía; es decir, en que el cultivo de la filosofía transmite actitudes y habilidades valiosas y personal o socialmente beneficiosas. Pero ¿qué hay que entender por “cultivo” de la filosofía? Para responder a esta nueva pregunta voy a recurrir a la socorrida distinción entre estudiar filosofía y hacer filosofía. Justificar la filosofía por sus efectos benéficos es interpretar la pregunta “¿sirve para algo la filosofía?” como “¿sirve para algo *hacer* filosofía?”. Este desplazamiento de la cuestión está en consonancia con las palabras de Wittgenstein antes citadas. Algunos derivan de esta justificación del filosofar una justificación del estudio de la (historia de la) filosofía: estudiar filosofía es el único o el mejor modo de aprender a filosofar. No obstante, creo que este paso es dudoso, porque no hay pruebas de que sea así, y esa pretensión contradice los supuestos, creo yo, de lo que podríamos llamar “pedagogía socrática” (de los que Fátima Álvarez, como experta en filosofía para niños, podría hablar con autoridad).

En filosofía y en metafilosofía una pregunta lleva a otra pregunta, y no habremos avanzado mucho si no somos capaces de explicar qué es filosofar o hacer filosofía. Mi respuesta es que filosofar es participar en una *práctica* filosófica, en el sentido de John Rawls (1955: 3):

En lo que sigue uso la palabra “práctica” como una especie de término técnico que se refiere a cualquier forma de actividad especificada por un sistema de

reglas que definen oficios, roles, movimientos, castigos, defensas, etcétera, y dan a la actividad su estructura. Entre otros ejemplos, podemos pensar en juegos y rituales, juicios y debates parlamentarios.

Naturalmente, no todas las prácticas son filosóficas: por ejemplo, jugar al fútbol, participar en una representación teatral o en un juicio no son prácticas filosóficas. Los nombres “Filosofía práctica”, “Consultoría filosófica”, “Praxis filosófica”, “Práctica filosófica”, “Asesoría filosófica”, “Orientación filosófica”, “Filosofía aplicada”, etc. a veces se usan para referirse a un mismo tipo de actividad, y en otras para establecer diferencias dentro de un mismo campo vagamente delimitado. En general, esas etiquetas cubren cualquier práctica que comporte un ejercicio no académico de la filosofía de donde se desprende que dar una clase de filosofía no es filosofar.

Como actividades propias de la práctica filosófica suelen citarse las siguientes:

- el examen de los argumentos y justificaciones de los destinatarios;
- la clarificación, análisis y definición de términos y conceptos importantes;
- la exposición y examen de presupuestos e implicaciones lógicas;
- la exposición de conflictos e inconsistencias;
- la exploración de teorías filosóficas tradicionales y su importancia para los asuntos del cliente;
- cualquier otra actividad que haya sido históricamente identificada como filosófica.

Naturalmente, no todos los filósofos practicantes estarían de acuerdo en usar esta enumeración como una caracterización paradigmática de las prácticas filosóficas. No lo estaría, por ejemplo, José Barrientos, a quien podrán escuchar en estas jornadas el próximo día 21. Barrientos distingue una filosofía aplicada lógico-argumental, que persigue una clarificación racional basada en la analítica conceptual y en el análisis de los argumentos, y una filosofía aplicada experiencial cuyo objetivo es la transformación del sujeto por medio del “contacto con las nuevas verdades deudoras de su experiencia y del desplazamiento ontológico del individuo debido a su proceso experiencial” (2013: 46). En todo caso, la pregunta que me ha traído hasta aquí es si sirve para algo filosofar, y si consigo mostrar que sirve de algo filosofar lógico-argumentalmente, habré mostrado que sirve para algo filosofar *tout court*, y habré respondido a la pregunta. Asu-

miré, pues, que una práctica en la que algunas de estas actividades propias del filosofar ocupan un lugar destacado, puede ser calificada de práctica filosófica.

Observen que, si los efectos benéficos que justifican la filosofía lo son de *hacer* filosofía, dependerán en buena medida del modo de hacerla, de manera que, presumiblemente, sólo algunos modos de hacer filosofía servirán para algo.

Otro posible tema de discusión relacionado, en el que no me detendré aquí, es si se pueden practicar la matemática, la biología, la historia o la sociología filosóficamente.

Mi práctica de la filosofía

Para responder a la pregunta “¿qué especialidad de la filosofía práctica cultiva usted?”, voy a usar dos conocidas clasificaciones de las prácticas filosóficas.

Lou Marinoff (2002) divide las prácticas filosóficas en tres áreas de actuación, en función del público al que se dirige:

- **ORIENTACIÓN FILOSÓFICA** (*Client counselling*): trabajo filosófico con individuos. Incluye distintas formas de terapia y orientación filosófica. Para fundamentarla se suele apelar a que la filosofía antigua trataba, sobre todo, de cómo llevar una buena vida, y a una concepción terapéutica del diálogo, que se remontaría a Sócrates.
- **ANIMACIÓN FILOSÓFICA** (*Group facilitation*): trabajo filosófico con grupos. Incluye la coordinación o animación de grupos informales de diálogo (cafés filosóficos, talleres de filosofía, etc.), o de grupos formales (como el diálogo socrático de Nelson y Heckmann).
- **CONSULTORÍA FILOSÓFICA** (*Organizational consulting*): trabajo filosófico con organizaciones públicas o privadas. Entre los servicios que un filósofo puede ofrecer a una organización están clarificar los objetivos de la organización, inculcar diferentes virtudes, formular y desarrollar códigos éticos, conseguir el cumplimiento de unos mínimos éticos, proporcionar *coaching*, resolver tipo de conflictos dentro de la organización, y enseñar capacidades de liderazgo.

Otra clasificación popular de las prácticas filosóficas se basa, no en el público al que se dirige cada práctica, sino en su finalidad (Arnaiz, 2007: 3).

- Prácticas filosóficas terapéuticas, que buscan la autocomprensión, y que se corresponden aproximadamente con el trabajo filosófico con individuos de Marinoff (orientación). Suponen el uso de conceptos y métodos filosóficos para que alguien se entienda a sí mismo y su entorno.
- Prácticas filosóficas lúdicas, como los cafés filosóficos, los talleres de filosofía y otras formas de entretenimiento filosófico, y que coinciden aproximadamente con la animación filosófica. Suponen el uso de conceptos y métodos filosóficos para procurar entretenimiento.
- Prácticas filosóficas formativas, que coinciden aproximadamente con la consultoría de Marinoff. Suponen la enseñanza de conceptos y métodos filosóficos para su aplicación a tareas y problemas de las organizaciones.
- Prácticas filosóficas mediáticas de divulgación de la filosofía en los medios de comunicación de masas. Por ejemplo, la novela *El mundo de Sofía*, de Jostein Gaarder, el cómic *Filosofía en viñetas* de Michael F. Patton y Kevin Cannon, o el documental *Examined Life*, de Astra Taylor.

Lo que yo hago, además de dar clases de teoría de la argumentación, que es mi actividad principal y con lo que realmente me gano la vida, es peritaje lógico-argumentativo de documentos. Para evitar malentendidos, por “lógica” no hay que entender aquí una teoría de las inferencias, al estilo de las lógicas formales, sino una teoría de la construcción dialógica de las razones (lo que, dicho sea de paso, se compadece mejor con la etimología de λογική). Desde esta perspectiva razonista, la pregunta lógica por excelencia es “¿debemos aceptar esta tesis por las razones aducidas para sustentarla?”.

El análisis lógico-argumentativo de un documento examina el producto de un intercambio argumentativo, de una argumentación, y tiene las finalidades sucesivas de: (1) identificar qué consideraciones se presentan como razones para qué; (2) identificar las relaciones que se establecen entre las distintas razones que lo integran, (3) evaluar el peso relativo asignado a las razones aducidas y su capacidad para desempeñar el papel que se les atribuye en la argumentación, y (4) determinar si, tal y como ha sido construida, la argumentación como un todo favorece la conclusión que pretenden los autores de la argumentación.

Los errores más frecuentes que detecto tienen que ver con el efecto *framing*, con la ausencia de ponderación de razones opuestas y de justificación de ponderaciones no evidentes. El efecto de *framing* (Tversky y Kahneman,

1981) consiste en hacer depender la conclusión a la que se llega del modo de presentar los argumentos de una y otra posición. El efecto *framing* se produce, por ejemplo, cuando se presentan primero los argumentos de una parte como conjunto coherente de argumentos que se refuerzan mutuamente, para rebatir a continuación cada uno de los argumentos de la otra parte por separado, alegando que ninguno de ellos es tan fuerte como la argumentación de la primera parte. En cuanto a la ausencia de ponderación, consiste en asumir que si hay buenas razones para una posición, se puede concluir sin más, ignorando que con frecuencia (si no siempre) suele haber razones a favor y en contra de una posición, que es preciso sopesar para llegar justificadamente a una conclusión.

En resumen, el cliente me encarga una peritación lógica de un documento, que consiste en un análisis lógico razonista de las argumentaciones contenidas en él, que identifique sus compromisos, explícitos e implícitos, sus presupuestos y su coherencia. Ese análisis se plasma en un informe pericial en el que expongo de forma razonada mis conclusiones sobre la calidad de las argumentaciones del documento peritado. Es imprescindible que el informe sea fácilmente comprensible y convincente para un público sin conocimientos de teoría de la argumentación y, más en general, de filosofía. Me permito llamar su atención sobre el hecho de que “en los autores del siglo V a. C., *sophistēs* es una especie de título que se aplica a cualquier persona sobresaliente o experta en actividades tan diversas como la poesía, el conocimiento de la naturaleza, la medicina o la adivinación (Ramírez Vidal, 2016: 385).

Hasta la fecha mis clientes han sido empresas del sector de la energía y de la ingeniería y bufetes de abogados, por lo que, según la clasificación de Marinoff, lo que hago es una forma de consultoría filosófica, aunque mi actividad no está contemplada en su enumeración de los servicios que un filósofo puede ofrecer a una organización. En cuanto a la clasificación complementaria de Gabriel Arnaiz, lo que hago no pretende tratar enfermedad alguna, ni entretener, ni perfeccionar las facultades intelectuales o morales de nadie, ni poner al alcance del gran público conocimiento alguno, así que creo que no tiene cabida en ella.

El imperfecto encaje de la peritación argumentativa en las clasificaciones al uso de las prácticas argumentativas puede deberse a que la lógica, en su más amplia acepción, es una disciplina *sui generis* dentro de la filosofía por su valor instrumental o propedéutico.

En definitiva, lo que hago fuera de la academia es filosofía (o análisis lógico) para otros a cambio de una remuneración. ¿Soy entonces un sofista? En el Crátilo, 384b, Sócrates se burla del sofista Pródico de Ceos por vender sus conocimientos filosóficos.

Y, desde luego, el conocimiento de los nombres no resulta insignificante. Claro que, si hubiera escuchado ya de labios de Pródico el curso de 50 dracmas que, según éste es la base para la formación del oyente sobre el tema, no habría nada que impidiera que tú conocieras en este instante la verdad sobre la exactitud de los nombres. Pero, hoy por hoy, no he escuchado más que el de un dracma. Por consiguiente, ignoro cómo será la verdad sobre tan serio asunto.

Supongo que Sócrates podría decir algo parecido de mis informes periciales, aunque mi tarifa depende de la complejidad del documento y del tiempo disponible para hacerlo, y no de la calidad del análisis.

Cómo potenciar la presencia de la filosofía práctica

Voy a tratar de responder a esta pregunta refiriéndome únicamente a las medidas que se pueden tomar en el ámbito que mejor conozco, el de la Universidad, para potenciar la proyección de la filosofía práctica y, en consecuencia, mejorar la consideración social de la filosofía y las oportunidades laborales de los graduados y graduadas en filosofía.

Paradójicamente, porque antes he dicho que etiquetas como “Filosofía práctica”, o “Práctica filosófica” se usan para referirse a cualquier ejercicio no académico de la filosofía, lo primero que hace falta es un cierto reconocimiento de la filosofía práctica dentro del currículo formativo de los grados en filosofía. Su presencia es muy escasa y, lo que es peor, con frecuencia es considerada poco seria o carente de rigor por los profesores y estudiantes de filosofía.

Lo segundo es enfocar las actividades formativas en los estudios universitarios de filosofía para enseñar a filosofar, más que para enseñar filosofía. Esta reivindicación viene de antiguo, pero, hasta donde yo sé, no ha sido atendida en ninguna institución universitaria.

Mi tercera propuesta complementa la anterior, pero es algo más original: recuperar en la docencia la forma dialógica de hacer filosofía. Como he dicho antes, el valor práctico de la filosofía va ligado a determinadas maneras de hacer

filosofía, así que no basta con saber que existen las prácticas filosóficas ni con aprender a filosofar: hay que aprender a filosofar de determinadas maneras.

El diálogo socrático, a la manera de Nelson y Heckmann, es probablemente la forma prototípica de la práctica filosófica. En el diálogo socrático:

[...] los participantes intentan investigar de un modo más o menos estructurado la verdad y el valor de sus opiniones, con la intención de responder a las preguntas elegidas por ellos mismos. [...] La conversación adquiere significado como diálogo, más que como debate formal o discusión informal. Los participantes intentan comprenderse unos a otros y se comprometen en una empresa común. [...] El intento de pensar con cuidado, detenimiento y profundidad distingue este método de otras formas de conversación, como los debates, las tormentas de ideas o las sesiones de pensamiento creativo (van Rossem, 2011: 2).

El diálogo socrático, así entendido, surgió a finales de la Primera Guerra Mundial, cuando el filósofo alemán Leonard Nelson diseñó una técnica para enseñar filosofía de una manera activa a sus estudiantes universitarios, a la que llamó “método socrático” o “diálogo socrático”. Posteriormente, Nelson utilizó la técnica con adultos fuera de la universidad, primero en el marco de una organización política y después con niños y jóvenes en una escuela experimental.

(Curiosamente, Ramírez Vidal, *op. cit.*, 387, opina que Platón logró imponerse a sus rivales sofistas por el uso del diálogo socrático.) Del mismo modo, entre los rasgos definitorios de las prácticas filosóficas mencionadas en “Otros caminos para descubrir la filosofía” están que son dialógicas, y se basan en el diálogo (esto es, una interacción verbal regulada en la que los participantes piden, dan y examinan razones para esclarecer un asunto) y erotéticas, por la importancia que en ellas tienen las preguntas. Sin embargo, la investigación y la docencia en filosofía (la filosofía teórica, si se quiere) hace mucho tiempo que perdieron su carácter dialógico.

La dialéctica es el estudio de los procedimientos para regular las discusiones entre personas para producir buenas decisiones, y por tanto la inclusión en el *currículum* formativo es consecuente con la recuperación del carácter dialógico de la enseñanza y el ejercicio de la filosofía y con el carácter reflexivo de la filosofía. El recientemente desaparecido Luis Vega Reñón escribía de la teoría de la argumentación:

Hoy este campo de estudio se presenta como un nuevo *trivium* de lógica, dialéctica y retórica, con nuevas posibilidades analíticas, en la línea de una lógica sutil de la pragmática discursiva, y con incitantes retos de constitución teórica o de justificación crítica (Vega Reñón, 2004: 131).

Mi última e innovadora propuesta para fomentar la práctica de la filosofía es, pues, introducir un nuevo *trivium* en su enseñanza.

Lecturas recomendadas

- Arnáiz, Gabriel. (2007). ¿Qué es la filosofía práctica? *A Parte Rei*, 53. Disponible en <http://serbal.pntic.mec.es/~cmunoz11/arnaiz53.pdf>
- Barrientos, José. (2013). La orientación experiencial en la filosofía aplicada (FAE) como ampliación de la tendencia lógico-argumental (FALA). *Tepantlatō*, 47, 27-42.
- Goucha, Moufida (dir.). (2011). Otros caminos para descubrir la filosofía. *La filosofía. Una escuela de libertad* (pp. 153-193). París/Ciudad de México: UNESCO/Universidad Autónoma Metropolitana. Disponible en <https://divcsh.izt.uam.mx/cefilibe/wp-content/uploads/2013/12/01-Filosofia-escuela-de-la-libertad.pdf>
- Marinoff, Lou. (2001). *Philosophical Practice*. San Diego: Academic Press.
- Ramírez Vidal, Gerardo. (2016). *La invención de los sofistas*. Ciudad de México: UNAM.
- Rawls, John. (1955). Two concepts of Rules. *The Philosophical Review*, 64, 3-32.
- Russell, Bertrand. (2000 [1935]). *Elogio de la ociosidad y otros ensayos*. (Trad. de Elena Rius). Barcelona: Edhasa.
- Tversky, Amos, y Kahneman, Daniel. (1981). The framing of decisions and the psychology of choice. *Science*, 211(4481), 453-458.
- Van Rossem, Kristof. (2011). ¿Qué es un diálogo socrático? *P@kenredes*, 1(9), 2-9. Disponible en https://www.socratischgesprek.be/teksten/artikel_SG_Spaans.pdf
- Vega Reñón, Luis. (2004). De la lógica académica a la lógica civil: Una proposición. *Isegoría*, 31, 131-149. Disponible en <https://isegoria.revistas.csic.es/index.php/isegoria/article/view/458/458>
- Wittgenstein, Ludwig. (2003). *Tractatus Logico-philosophicus*. (Traducción, introducción y notas de L. M. Valdés Villanueva, 2ª edición). Madrid: Tecnos.

¿Es posible leer sin los ojos?

Reflexiones desde la discapacidad visual

J. JESÚS CALVILLO REYNOSO*

Resumen

El acceso a la lectura es un derecho humano interseccional. Hoy en día, es paso obligado para acceder y permanecer inmerso en la sociedad de la información y del conocimiento. De hecho, su equivalente inverso, la escritura, es considerada como el parteaguas que hace transitar al ser humano de la prehistoria a la historia formal. Sin embargo, las personas con discapacidad visual, en particular quienes viven con ceguera, han experimentado una evolución diferenciada en este sentido. Basta decir que el sistema de lectura y escritura braille se inventó hasta 1824, lo cual por equivalencia significaría que las personas con ceguera vivían en la prehistoria hasta hace poco menos de dos siglos.

En la actualidad, el acceso a la lectura por parte de las personas con discapacidad visual, sea en papel o en dispositivos electrónicos, ofrece una amplia variedad de posibilidades. Algunas de ellas son la lectura en voz alta, los audiolibros, las líneas braille, la impresión de libros en braille, el uso de lectores de pantalla, el uso de asistentes de voz, entre otros.

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades.

Luego entonces, la respuesta corta es: sí, es posible leer sin ojos. A lo largo de este texto se explicará cómo puede ser posible, las peculiaridades de cada alternativa, sus ventajas y desventajas, así como reflexiones y curiosidades inherentes al tema, desde la discapacidad y para la discapacidad.

Introducción

En el devenir de la raza humana, el proceso de lectura y escritura se dio a través de grafías, caracteres o signos plasmados en algún material o superficie como papel, cuero, madera, barro, piedra, o incluso en el interior de cuevas o laderas en montañas. Sin embargo, independientemente del material o del tipo de escritura, por lo regular el proceso de cognición era el mismo: ver, interpretar y comprender la idea plasmada. De tal suerte que se instauró en el ideario colectivo la noción de que, para leer es necesario ver y de forma inversa, si no ves no puedes leer. Bajo este supuesto, las personas con discapacidad visual, más concretamente las personas con ceguera permanecieron ajenas a la lectura y escritura por milenios. Situación que cambió hace apenas un par de siglos con la invención del sistema de lectoescritura braille en 1824.

Es importante señalar que leer es un derecho del que toda persona goza sin excepción o condición alguna. No debe existir restricción de ningún tipo para su disfrute, independientemente de condiciones sociales, económicas, políticas o de salud. Aun en situaciones de discapacidad, pertenencia a pueblos originarios, personas privadas de la libertad, adultos mayores o en situación de vulnerabilidad social, el leer y el acceso a la lectura deben estar garantizados. Es importante señalar que éste no es un nuevo derecho humano. Es en realidad un derecho humano interseccional que confluye en derechos como educación, ciencia y cultura, libertad de expresión, derechos culturales de minorías, entre otros. Es decir, ninguno de éstos podría lograrse sin la garantía del acceso a la lectura y el derecho a leer.

Entonces, de regreso a la pregunta ¿es posible leer sin la capacidad de ver? Y si es posible, ¿cómo puede hacerse? Para responder a esto, viene bien un pequeño preámbulo. De los cinco sentidos con que cuenta el ser humano, en promedio el 85% de los estímulos sensoriales se perciben mediante la vista, pero al carecer de ella es necesario recurrir a otros sentidos como el oído y/o el tacto. Y, justo en esta situación se encuentra el acceso a la lectura.

Alternativas para leer sin ver

Sobre alternativas para leer basadas en el tacto, uno de los antecedentes documentados se remonta a la Francia de 1874 en una de las primeras escuelas para ciegos bajo la dirección del profesor Valentín Haüy. Su sistema consistía en la impresión de libros en relieve. Utilizaba el mismo alfabeto árabe que los textos regulares, sólo que con los caracteres resaltados y de mayor tamaño en laminillas, de tal suerte que éstos podrían palparse; algo así como se verían las letras en la placa de un automóvil, pero con letras de menor tamaño. Como es fácil adivinar, el proceso de lectura era lento, los libros eran enormes y los costos de producción altos. Sin embargo, por primera vez las personas con ceguera fueron capaces de leer, aunque de forma lenta y con costos casi prohibitivos.

Cuatro décadas más tarde, en la Escuela de París para personas ciegas, iniciada por Valentín Haüy, Louis Braille desarrolla una alternativa para la lectura con las manos: el sistema de lectoescritura braille. En resumen, este sistema consiste en puntos en relieve que parten de un conjunto de seis puntos (dos horizontales y tres verticales) denominado signo generador. Conforme a la cantidad y orden de éstos, cada grupo de puntos puede ser una letra, número, signo de puntuación, signo matemático o incluso musicografía o escritura estenográfica equivalente a escritura abreviada. Aunque esta opción presentaba más facilidad para leerse al tacto, hubo un fuerte debate respecto a si las personas con ceguera debían de aprender el braille, o bien, la propuesta de las letras árabigas en relieve. El argumento de los detractores fue que al ser diferente de cómo las personas escribían, se generarían procesos de segregación y exclusión. La discusión se extendió casi por medio siglo hasta que se generó consenso en que el sistema braille era más amigable para la lectura táctil, mientras que las letras árabigas eran más fáciles de leer visualmente. Sea como fuere, el braille se convirtió en una nueva opción para leer sin el sentido de la vista. Hoy en día es muy utilizado para alfabetizar a menores con discapacidad visual y a la vez, como una estrategia para el acceso a la lectura y a la información para la población con ceguera (Serpa, Rojas, González, Leal y Rodríguez, 2022).

Adicional al tacto, el oído es otro sentido para acceder a la lectura sin ver. Es decir, la lectura en voz alta de algún libro o texto, grabada en un dispositivo como archivos de audio en distintos formatos (mp3, WMA, mp4, GP, etc.) y compartidos mediante discos, memorias extraíbles, descargas de páginas web e incluso en plataformas como Spotify, YouTube, podcast, etcétera).

En sus orígenes, la lectura en voz alta se utilizó no sólo para quienes no veían sino también para quienes no sabían leer. Era una forma de transmitir mensajes, noticias, divertirse y, en algunos casos, acceder al conocimiento religioso y científico de la época. Figuras como el aedo, rapsoda, juglar, pregonero, narrador oral, cuentacuentos, entre otros, transmitían saberes leídos o a veces memorizados para quienes los escuchaban. Utilizando su voz como principal herramienta y en ocasiones acompañándose de instrumentos musicales o de cierta teatralidad, eran la única opción para poder acceder a un libro o conocimiento, pudieras o no pudieras ver.

Hoy en día, los audiolibros se producen de maneras más sofisticadas, recurriendo a estudios de grabación profesionales con múltiples recursos de musicalización, edición y remasterización. Usualmente elaborados por las propias editoriales, quienes las ofrecen como alternativa a los libros impresos. No están pensados *ex profeso* para personas con discapacidad visual, sino más bien para público que disfruta más el escuchar, o bien hacer otras actividades como manejar o cocinar mientras leen. Sin embargo, es una maravillosa alternativa para leer sin el sentido de la vista (Vallorani y Gilbert, 2022).

En tiempos más contemporáneos, con el desarrollo vertiginoso de la informática, una nueva alternativa surgió para las personas con ceguera. Los lectores de pantalla en combinación con los sintetizadores de voz abrieron un mundo de posibilidades para acceder a la lectura aun sin la posibilidad de ver. Para comprender su funcionamiento, conviene explicar que es el resultado de la interrelación de tres elementos: el lector de pantalla, un sintetizador de voz y un libro en formato accesible. Sin la presencia de uno de estos elementos, sería muy complicado acceder a la lectura. A continuación se profundiza un poco más para su mejor entendimiento.

Sobre el lector de pantalla, es un *software* que reconoce e interpreta el texto e incluso algunos íconos e imágenes en la pantalla tanto en equipos de cómputo como en dispositivos móviles. Respecto del sintetizador de voz, consiste en una simulación de voz humana mediante un *software* programado para convertir texto a lenguaje hablado. Finalmente, un libro en formato accesible es aquel documento que luego de un adecuado tratamiento y edición, ofrece niveles óptimos de compatibilidad con la tecnología de un lector de pantalla y, en consecuencia, el sintetizador de voz puede verbalizar su contenido para ser

escuchado. Como se observa, el acceso a la lectura en esta modalidad requiere la armonización de los tres elementos (Herrera, La Hoz, Ruiz y Consuegra, 2024).

Afortunadamente, en la actualidad son cada vez más comunes los desarrollos tecnológicos que conjugan en una misma aplicación el lector de pantalla y el sintetizador de voz. Algunas son aplicaciones nativas en el sistema de los equipos; es decir que vienen preinstaladas de fábrica. Existen también aquellas que requieren ser instaladas por el propio usuario; siendo algunas libres y de código abierto, mientras que otras son de pago y operan bajo licencia comercial. Estas opciones están disponibles para la mayoría de los sistemas operativos como Windows, MAC OS, IOS, Android, Linux, entre otros. Los que todavía no son tan comunes son los libros accesibles a lectores de pantalla, por lo que frecuentemente deben editarse casi de forma artesanal, siguiendo ciertas convenciones y sugerencias para que la lectura sea más o menos adecuada.

De esta manera, una persona que no ve accede mediante un lector de pantallas a un libro electrónico accesible que puede ser cualquier archivo de texto (pdf, notas, Word, Pages, Google Document, WordPad, E-book, etc.) y auxiliado por un sintetizador de voz puede escuchar el contenido del libro, con la posibilidad de avanzar o regresar páginas, aumentar o disminuir la velocidad de lectura, seleccionar texto, tomar notas y demás funciones que le permitan reforzar la comprensión del documento (Gil y Guilleumas, 2023). Dicho en otras palabras, leer sin ver.

Existe también una alternativa híbrida entre el sintetizador de voz y el sistema de lectoescritura braille. Esta opción retoma los elementos descritos del lector de pantalla y del libro en formato accesible, sólo que en lugar de la verbalización de contenidos mediante el sintetizador de voz, convierte el texto en caracteres táctiles a través de una línea braille. Este dispositivo simula puntos braille mediante agujas movibles en una pantalla táctil. Son letras que surgen, avanzan y desaparecen para dar espacio a un nuevo grupo de palabras, conforme al ritmo del reconocimiento del texto en pantalla. La lógica de uso es la siguiente: el lector de pantalla interactúa y reconoce el texto del libro electrónico accesible, e inmediatamente el contenido identificado se convierte en letras braille para su lectura.

La línea braille es un desarrollo novedoso para acceder a la lectura. Se utiliza como un periférico en una computadora, celular o tableta. Algunas versiones se

vinculan mediante *bluetooth* y otras por cable USB. Al igual que el sintetizador de voz, la línea puede ajustarse en la velocidad de lectura, en la resistencia del punto al tacto, e incluso existen modelos que permiten interactuar y controlar algunas funciones del sistema operativo en que se ejecuta. De hecho, algunos modelos combinan la síntesis de voz con el braille. Es decir, verbalizan y escriben en braille el contenido de la pantalla. Así el usuario puede elegir la opción que más le convenga o incluso retroalimentar la lectura mediante la escucha y el acceso táctil al texto.

Hay también una opción intermedia entre el audiolibro y el uso de un sintetizador de voz. Aquí no es necesario el uso de un lector de pantalla. Se recurre más bien a un *software* que permite gestionar los sintetizadores de voz instalados en un equipo. Mediante él, se copia y se edita texto, que bien puede ser un libro. Acto seguido se configuran las características del sintetizador de voz como la velocidad de verbalización, la entonación, la duración de los bloques de lectura, entre otras opciones. Finalmente, se procede a generar archivos MP3, que no son otra cosa que el texto convertido en audio y que podrán ser escuchados en cualquier reproductor compatible con este formato. Es decir, un audiolibro elaborado con un sintetizador de voz.

Por supuesto que una persona con discapacidad visual podría escuchar el texto en directo del gestor de sintetizadores de voz, aunque para ello sería necesario que utilizara un lector de pantalla para interactuar con el equipo. La ventaja de esta alternativa es la posibilidad de generar los audios casi de forma inmediata, con copias ilimitadas de la obra, sin los costos de un estudio de grabación, sin las horas extenuantes de lectura en voz alta de una persona física, y con la posibilidad de escucharlo en cualquier parte. En cuanto a probables desventajas, está la sensación de cansancio que para algunas personas les genera escuchar una voz no humana, con pocas inflexiones y sin tanta expresividad o elocuencia. No obstante, al final es otra opción para poder leer sin ver.

Ventajas, matices y claroscuros en las alternativas

Es momento de hacer balances. De hablar de las ventajas y limitaciones de las alternativas enumeradas. De recuperar, incluso polémicas y discusiones existentes. Una de las primeras cuestiones se asocia con una vieja discusión: ¿qué sentido es mejor utilizar para la lectura cuando no se ve? Como se ha descrito,

el tacto con el braille tradicional, en línea braille o las letras en relieve; y el oído, con los audiolibros convencionales o los generados con sintetizador de voz; o la verbalización en equipos de cómputo o móviles mediante la combinación de lector de pantalla con sintetizador de voz. Los detractores de cualquier modalidad de acceso a la lectura mediante el oído señalan que la escucha de un texto no representa el proceso cognitivo que el leer implica. En el mejor de los casos sería una escucha activa. Situación que es diferente al hacerlo mediante el braille, pues según esta postura, la interacción de los dedos al reconocer e interpretar los puntos sí se asocia más al proceso de cognición de la lectura.

El sistema de lectoescritura braille tiene algunas peculiaridades que podrían considerarse como limitaciones o dificultades en su utilización. Por principio, su uso no está tan extendido como se podría pensar. De hecho, es un porcentaje limitado de la población con discapacidad visual quienes lo utilizan para acceder a la lectura. Es importante señalar que, en México, más del 80% de los casos de discapacidad son adquiridos en etapas adultas, en las que resulta más complicado desarrollar la habilidad y la sensibilidad para el braille. Por otra parte, la disponibilidad de títulos en braille a la venta, así como de acervos en bibliotecas son limitados y no en raras ocasiones, inexistentes. Respecto a la posibilidad de adquirir los insumos necesarios para una impresión personal de materiales, la cosa no mejora mucho en razón de lo prohibitivo de los costos. En una estimación que incluya el *hardware*, el *software* y los consumibles para armar un equipo básico de impresión casera, la inversión promedio rondaría los 4,500 dólares.

Otro aspecto a considerar al imprimir o desarrollar un acervo braille es el espacio necesario para su almacenamiento. Por sus características y el material que se utiliza requiere de lugares amplios. Para ejemplificar lo anterior, un libro en tinta de 250 hojas en formato media carta, impreso en braille integral se convertiría en un promedio de 1,000 hojas tamaño carta. Adicional a lo anterior, al ser caracteres en relieve, y siguiendo una analogía muy genérica, las hojas resultantes se esponjan y ocupan un espacio aún mayor. De tal suerte que se requerirán un promedio de siete engargolados de 145 hojas, pero que requerirán el espacio equivalente de 15 veces el tamaño del libro original, o 30 veces, si se considera que la versión braille es tamaño carta y el libro en tinta es de media carta.

Respecto a la línea braille, como alternativa individual para el acceso a la lectura, soluciona el problema del espacio para almacenamiento y de los costos de impresión. Sin embargo, es una tecnología aún con poca difusión y por ende desconocida por muchos. Sobre su costo, en México oscila entre los 2,500 y los 5,000 dólares, que sumados al equipo de cómputo o al dispositivo móvil al que debe vincularse, propician que su acceso sea restrictivo a una persona o familia con un poder adquisitivo bajo o medio. Otra consideración es su uso individual o no sincrónico. Es decir, en la situación de que más de una persona requiera su uso, deberán turnarse, o bien adquirir tantas líneas como usuarios presentes haya.

Relativo al braille, se puede concluir que es una excelente alternativa para acceder a la lectura, pero que enfrenta grandes retos y dificultades, como su complicación para aprenderse a cabalidad en una edad adulta, los costos para adquirir equipos de impresión o líneas braille, incluso el espacio que requiere para su almacenamiento y eventual desarrollo de un acervo de obras suficiente. No obstante, es una estrategia recomendada para la alfabetización de niños con ceguera y vital para la comunicación urbana y social (Sánchez y Díaz, 2020). Al final del día, ofrece la oportunidad para leer sin ver. Las dificultades pueden matizarse mediante esfuerzos institucionales y el desarrollo de política pública en este sentido; sin olvidar que hay toda una reglamentación y marcos normativos de los tres niveles para reforzar acciones e impulsar la lectura para las personas con discapacidad visual.

Sobre las limitaciones o dificultades para acceder a la lectura mediante los audiolibros, más allá del debate de si es leer o sólo escucha activa (Huertas, 2021), cuando éstos se elaboran mediante un sintetizador de voz, existe la sensación de monotonía en la verbalización. Es una lectura un tanto cansada por la ausencia de inflexiones y de expresividad en la voz. Está también el hecho de que su elaboración requiere de ciertas habilidades técnicas para el manejo del *software* y en algunos casos el pago de uso de las licencias. En contraparte, sus costos de producción son más baratos en comparación con las alternativas del braille, son de rápida elaboración y las copias pueden ser ilimitadas, mientras que el almacenaje no es un problema y su uso puede registrarse en cualquier lugar con un reproductor de audio, incluso un celular o un MP3 player.

Respecto a los audiolibros profesionales, su limitación es su marcado enfoque en temas relativos a la superación personal, autoayuda y en menor proporción a literatura o poesía; mientras que de disciplinas específicas o textos académicos, son más bien inexistentes. Es decir, escuchar las adaptaciones de obras en este formato es muy agradable, pero a sabiendas de que las opciones de lectura serán restringidas a temas concretos que no forzosamente se alineen con el interés de los lectores. Por lo tanto, no es una estrategia para necesidades específicas como las de un estudiante, un investigador, un empleado o cualquier persona con inquietudes focalizadas y con premura de tiempo para leer.

Por su parte, la lectura mediante el trinomio de lector de pantalla, sintetizador de voz y libro en formato accesible, compartiría la limitación del cansancio por la verbalización monótona y con poca expresividad. Podría también encuadrarse en el debate sobre si es leer o sólo escucha activa. Asimismo, estaría el tema del costo de un equipo de cómputo o de un celular para acceder a los materiales, pero por mucho más salvable que el braille. Entre sus ventajas, permite una mayor autonomía para la selección de textos; acceso casi inmediato a los libros electrónicos publicados o la posibilidad de leer libros impresos luego de su digitalización y tratamiento. El problema del almacenamiento es insignificante y la disponibilidad de copias es ilimitada (Álvarez, Shiguango, Bárcenes y Quezada, 2022). Por lo anterior, se perfila como la alternativa con mayor potencial para leer sin ver.

Podría ser que a estas alturas alguien se haya preguntado ¿qué sucede con los derechos de autor? ¿Acaso sólo basta el interés por algún libro para modificarlo en cualquiera de los formatos descritos? ¿No es necesario notificar o pedir autorización a los autores o a las editoriales para usar sus obras? La respuesta corta es: no. Cuando se trata de hacer accesibles las obras para el uso y disfrute de personas con discapacidad visual, los derechos de autor o *copyright* se exceptúan. Lo anterior se especifica a nivel internacional claramente y sin ambigüedades en el Tratado de Marraquech firmado en 2013 bajo el auspicio de la Organización Mundial de la Protección Intelectual (OMPI, 2013). En el escenario mexicano, adicional al Tratado de Marraquech se tiene la Ley Federal del Derecho de Autor publicada en 1996 en el *Diario Oficial de la Federación*. En ambos documentos se establece que cuando se tenga como objetivo hacer accesible los libros y textos para personas con discapacidad visual (entre otras),

no será siquiera necesario notificar al autor o a la editorial. Tampoco se pagarán regalías por el uso del texto, e incluso se facilitarán condiciones para el intercambio transfronterizo de materiales accesibles. La única restricción será que los textos adaptados sean de uso exclusivo de personas con discapacidad.

Es importante no olvidar que tanto el Tratado de Marraquech como los artículos de la Ley Federal para la Protección del Derecho de Autor buscan garantizar el derecho de las personas con discapacidad visual de leer y de acceder a la lectura. Para ello, son tres las dimensiones que deben de cubrirse para garantizar este derecho. La primera consiste en “la libertad de leer”, equivalente a la capacidad de elegir libremente los textos, libros y demás recursos informativos sin que medien restricciones, limitaciones o imposiciones. La segunda dimensión consiste en “la capacidad de leer” es decir, el derecho a ser alfabetizado, de saber leer, independientemente de condiciones físicas, sociales, económicas, políticas o de cualquier otra índole. Y la tercera dimensión, correspondiente a “la disponibilidad de materiales de lectura”, lo cual implica la adecuación (recursos y materiales suficientes para la lectura), la accesibilidad (equidad para acceder a los libros) y la aceptabilidad (variedad de títulos y materiales para la lectura). En conjunto, estas tres dimensiones establecen el marco de referencia para que toda persona pueda disfrutar de su derecho de leer, aunque en el caso de la discapacidad visual, en reiteradas ocasiones ni siquiera habían sido contempladas.

Conclusiones

En conclusión, sí es posible leer sin ojos. Hay múltiples alternativas para ello. Algunas son táctiles, otras auditivas e incluso la mezcla de ambas. Esta posibilidad tiene menos de dos siglos e inició en 1824 con el surgimiento del sistema braille. Hoy, estas opciones enfrentan diferentes retos y dificultades, como costos elevados, poca penetración en el dominio popular y la necesidad de recursos técnicos más o menos especializados. Lo anterior con todo y que es un derecho garantizado en legislación de orden internacional, nacional y estatal, aunado a excepciones a los derechos de autor o *copyright* en aras de garantizar el derecho humano interseccional de leer, del que gozan todas las personas, incluidas quienes no pueden ver.

A manera de cierre, las distintas opciones descritas ofrecen la posibilidad para que personas con discapacidad visual, en particular con ceguera, accedan a la lectura. No son las únicas alternativas, pero sí de las más representativas. Es un hecho también que mediante tecnologías convergentes como la inteligencia artificial, la ingeniería social y la sofisticación de las herramientas descritas surgirán nuevas estrategias. Aquí, la conclusión última es que no es necesario ver para leer, y que existe un abanico amplio de posibilidades para hacerlo. Lo anterior abre la puerta para la alfabetización, la inclusión educativa, el acceso a la sociedad de la información, la incorporación en el mercado laboral y demás posibilidades que, sin el acceso a leer, no serían posibles.

Lecturas recomendadas

- Álvarez, J., Shiguango, Z., Bárcenas, J., & Quezada, S. (2022). Usabilidad de sistemas informáticos y de software para usuarios con discapacidad: Revisión breve o narrativa. *Revista Ciencia Ecuador*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.23936/rce.v4i1.47>
- Gil, H., & Guilleumas, R. (2023). *Creación de recursos digitales accesibles para personas con discapacidad visual*. Universidad Tecnológica de Pereira. file:///C:/Users/Daniela/Downloads/digital%20-%20Recursos%20Digitales%20Accesibles_.pdf
- Gobierno de México. (1996). Ley Federal del Derecho de Autor. Texto vigente. *Diario Oficial de la Federación*, última reforma julio 2020.
- Herrera, L., De La Hoz, M., Ruiz, F., & Consuegra, M. (2024). Tiflotecnología e inclusión de las personas con discapacidad visual: Una revisión sistemática. *Cedotic*, 9(1), 13-35. <https://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/cedotic/article/view/3598/4697>
- Huertas, J. A. (2021). *Venturas y desventuras de la lectoescritura en Braille del siglo XXI*. *Venturas-y-desventuras-de-la-lecto-escritura-en-Braille-del-siglo-xxi.pdf* (researchgate.net)
- Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. (2013). *Tratado de Marrakech para facilitar el acceso a las obras publicadas a las personas ciegas, con discapacidad visual o con otras dificultades para acceder al texto impreso*. Recuperado de www.wipo.int/wipolex/es/treaties/text.jsp?file_id=302980
- Sánchez, S., & Díaz, E. (2020). Discapacidad visual, sistema braille e inclusión educativa desde la perspectiva interseccional. *Gestión I+ D*, 5(2), 33-59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7863440>

- Serpa, M., Rojas, I., González, Y., Leal, B., & Rodríguez, S. (2022). Consideraciones históricas sobre el sistema braille. *Revista Cubana de Oftalmología*, 35(3). http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21762022000300013&lng=es&tlng=en
- Vallorani, C., & Gilbert, I. (2022). El audiolibro: La nueva oralidad en la era digital. *Revista Internacional de Cultura Visual*, 12(2), 2-9. <https://doi.org/10.37467/revvisual.v9.3734>

¿Cuál es la función de los nutrientes en el cerebro?

ARATH ESTEBANE GONZÁLEZ ÁVALOS^{1*}
MONSERRAT MACÍAS CARBALLO*

Resumen

Los seres humanos tenemos cerebros grandes que demandan mucha energía y nutrientes. Los nutrientes están involucrados tanto en la estructura del cerebro como en la función de los neurotransmisores, que son sustancias químicas que tienen diversas funciones, incluyendo nuestra capacidad para pensar y aprender. Cuando decimos que se debe de comer bien para crecer sanos y fuertes, se está involucrando en gran medida al cerebro, aunque no muchos lo consideramos así.

Como parte de los componentes de la nutrición, se enmarcan los macronutrientes (carbohidratos, proteínas y lípidos) y micronutrientes (vitaminas y minerales), los cuales se consideran que son esenciales para diferentes características, que van desde el desarrollo cerebral y de diferentes órganos de nuestro cuerpo, su funcionamiento y el metabolismo que ocurre en ellos.

En este capítulo nos enfocaremos en describir la función de estos macro y micronutrientes en la estructura cerebral. Como dato inicial tenemos que de los componentes que más nos gustan y que forman parte de una gran cantidad de reacciones, es la glucosa, un azúcar y

* Centro Universitario de los Altos, Universidad de Guadalajara.

se ha considerado la principal fuente de energía cerebral, necesaria para que se dé la comunicación entre las células propias del cerebro, que son las neuronas.

El sistema nervioso es rico en grasas, necesita colesterol para el aprendizaje y la memoria, pero un desequilibrio puede ser dañino. Las proteínas, por otro lado, son fundamentales para la estructura y comunicación entre neuronas. Dentro de los micronutrientes, se sabe que la deficiencia de hierro afecta el desarrollo cerebral y el comportamiento, mientras que el yodo es vital para la función de la tiroides y el desarrollo cognitivo.

Una dieta equilibrada que incluya estos nutrientes es fundamental para la salud cerebral y la prevención de enfermedades neurodegenerativas y mentales.

Introducción

Los humanos somos capaces de realizar diferentes tipos de acciones que nos permiten vivir nuestro día a día. Muchas de estas acciones, como procesos de memoria, aprendizaje, el hablar e incluso hasta respirar, están asociadas con el cerebro. Se ha descrito que el humano tiene un cerebro considerado como grande, ya que en un adulto se estima que tiene un volumen de 1.350 cm³ aproximadamente, un peso de 1.500 g y contiene cerca de 20 billones de neuronas (Rosales-Reynoso, Juárez-Vázquez & Barros-Núñez, 2018).

La evolución del cerebro humano ha estado íntimamente ligada a los cambios en la dieta de nuestros ancestros. El aumento en el consumo de carne y la invención de la cocción de alimentos fueron factores cruciales en este proceso. La carne proporcionó una fuente rica y concentrada de proteínas y grasas esenciales, que son fundamentales para el desarrollo y mantenimiento del tejido cerebral. Además, la cocción de alimentos permitió una mayor absorción de nutrientes y reducción de toxinas, aumentando así la eficiencia energética y permitiendo que más recursos fueran destinados al crecimiento cerebral. Estos cambios dietéticos se correlacionan con el aumento significativo en el tamaño y la complejidad del cerebro humano, destacando la importancia de la nutrición en nuestra evolución cognitiva.

Un órgano tan grande también tendrá alta demanda energética y de nutrientes; la nutrición es uno de los factores ambientales que puede determinar una amplia gama de efectos sobre el desarrollo cerebral. Los nutrientes que consumimos pueden afectar tanto las estructuras grandes como las pequeñas

del cerebro, así como la función de los neurotransmisores, que son sustancias químicas que transmiten señales en el cerebro. Todo esto, en conjunto, influye en cómo se desarrolla nuestra capacidad para pensar y aprender. Los macronutrientes y micronutrientes son una fuente de energía que el cerebro requiere para que funcione bien. El sistema nervioso central es más vulnerable a nuestra alimentación, esto a lo largo de las diferentes etapas del desarrollo y crecimiento (Marrero Aliño, 2016).

En este capítulo revisaremos la importancia de los nutrientes y su relación con el cerebro desde una perspectiva en cuanto a la salud mental.

Nutrientes

Nuestro cuerpo necesita alimentos que sean ricos en los nutrientes que se requieren a lo largo de la vida. Un nutriente es un compuesto químico (como las proteínas, las grasas, los carbohidratos, las vitaminas o los minerales) que forma parte de los alimentos (Nosotros, 2020).

Una de las clasificaciones de los nutrientes es con base en la cantidad que requerimos:

- *Macronutrientes*: los necesitamos en grandes cantidades, nos aportan energía y éstos serían los carbohidratos (azúcares), proteínas (alimentos de origen animal o algunos otros como soya) y lípidos (grasas).
- *Micronutrientes*: los necesitamos en pequeñas cantidades, como tal no nos aportan energía, éstos serían las vitaminas y minerales, los cuales se encuentran principalmente en frutas y verduras (Nosotros, 2020).

Macronutrientes

Carbohidratos (azúcares)

La principal fuente de energía para todo el cuerpo y en específico para el cerebro es la glucosa, que en conjunto con el resto de nutrientes tiene la función de que se lleven o no procesos sinápticos, es decir, la comunicación entre las células cerebrales (neuronas). En promedio, para poder realizar esta función un cerebro adulto requiere entre el 10 y 12% del azúcar que se consume (Förster & López, 2022).

Lípidos (grasas)

El sistema nervioso es altamente lipídico, es decir rico en grasas; las células cerebrales contienen grandes cantidades de grasas como el colesterol y otros lípidos esenciales para la formación, estructura y funcionamiento correcto de ellas.

El colesterol desempeña un papel crucial en la salud del cerebro. Un desequilibrio en los niveles de colesterol puede causar problemas en una parte del cerebro llamada hipocampo, responsable de la memoria y el aprendizaje. La falta de colesterol puede dañar la estructura de las neuronas, mientras que niveles altos de colesterol en la dieta pueden afectar la capacidad del cerebro para formar nuevas conexiones (Cheon, 2023).

Demasiado colesterol en las neuronas provoca estrés en una parte de la célula llamada retículo endoplásmico, lo que lleva a la muerte de las neuronas en el hipocampo y, en última instancia, a la pérdida de funciones cognitivas y a la atrofia cerebral (Cheon, 2023).

Además, el metabolismo del colesterol es esencial para la formación de nuevas células cerebrales en el hipocampo durante la vida adulta. Si los niveles de colesterol no son los adecuados, este proceso se ve afectado, lo que puede llevar a problemas mentales.

Proteínas

Las proteínas tienen funciones en la parte interna de las neuronas. Dentro de estas funciones se encuentra el llevar el control de las miles de reacciones químicas que permiten que las neuronas se comuniquen (Oficina de Comunicaciones y Enlace Público, 2022).

También hay proteínas que son fundamentales para el desarrollo y crecimiento del cerebro, otras funcionan en el proceso de establecer conexiones físicas entre neuronas, otras tienen la función de ser neuropéptidos, moléculas neurotransmisoras que como su nombre lo indica, transmiten información de una neurona a otra y tienen la capacidad de ser excitadoras o inhibitoras.

Micronutrientes

Si bien casi todos los nutrientes son necesarios, un subconjunto de nutrientes desempeña un papel particularmente importante en una variedad de procesos críticos del desarrollo neurológico en todas las regiones del cerebro, lo que respalda la alta tasa de metabolismo cerebral durante las primeras etapas de la vida.

Los micronutrientes pueden mejorar la función cerebral y prevenir enfermedades neurodegenerativas. Éstos son esenciales para el funcionamiento óptimo del cerebro y su salud a largo plazo. Estas pequeñas pero poderosas sustancias, que incluyen diversos minerales, cumplen un papel crucial en diversas funciones cerebrales. La deficiencia de micronutrientes puede afectar negativamente la cognición, el estado de ánimo y la memoria.

Hierro

El hierro está implicado en muchos procesos, incluido el desarrollo del cerebro, es necesario para su desarrollo anatómico, es decir forma y estructura, para la formación de su aislante (mielinización) y para formación de sustancias químicas que transmiten señales cerebrales (neurotransmisores). En la vida temprana la deficiencia de hierro puede provocar efectos duraderos y potencialmente permanentes, lo que da lugar a trastornos del funcionamiento cerebral, de pensamiento y del comportamiento posterior en la vida adulta.

Yodo

Otro de los micronutrientes esenciales para el desarrollo cerebral es el yodo, el cual también es esencial para el funcionamiento de la glándula tiroides y sus hormonas; las neuronas constan de áreas específicas donde la hormona producida por la tiroides llega y se aloja, conocidas como receptores.

Diversos estudios han demostrado que áreas del cerebro se ven afectadas por la deficiencia de yodo, al igual que el desarrollo cognitivo y neurológico. La concentración de yodo y la hormona tiroidea se ha relacionado con mayor riesgo de problemas de atención; como el déficit de atención con hiperactividad también con sintomatología del espectro autista.

Zinc

El zinc es esencial para todas las formas de vida porque tiene un papel universal para mantener las células en su correcto funcionamiento, es de utilidad para tener un sistema de defensa en nuestro cuerpo que se active en caso de presencia de microorganismos que puedan causar una enfermedad. También es útil para procesar los azúcares que consumimos y transformarlos en energía.

La ingesta inadecuada de zinc es común, especialmente en sujetos y poblaciones cuyas dietas no incluyen carnes rojas, mariscos o alimentos adicionados con zinc (González & Visentin, 2016).

Muchos estudios han señalado un papel clave en los procesos del neurodesarrollo que involucran al zinc, como es la neurogénesis (la formación de nuevas células cerebrales), la migración neuronal (proceso que permite que las células cerebrales lleguen a su posición correspondiente), la génesis sináptica (la formación de conexiones entre células cerebrales) y la modulación de la comunicación entre células cerebrales (González & Visentin, 2016).

Calcio

El calcio es de utilidad para mandar información entre células, principalmente de nuestro cerebro a otras partes de nuestro cuerpo. También es útil para que los músculos respondan por medio de movimientos, en procesos de circulación sanguínea, forma y mantiene resistentes los huesos y los dientes.

Magnesio

El magnesio es uno de los minerales más abundantes en nuestro cuerpo y en la tierra, tiene más de 300 funciones en el cuerpo humano. Mantener las concentraciones adecuadas de magnesio en nuestro cuerpo, principalmente en el cerebro, ayuda a mejorar la capacidad de memoria y aprendizaje. La forma en que podemos mantener los niveles de magnesio es principalmente por medio de la dieta. El consumo de alimentos ricos en magnesio no se debe limitar.

Una persona sana, al ingerirlos filtrará lo que el cuerpo requiere y el resto lo eliminará por medio de la orina. Es importante considerar que existen diferentes suplementos alimenticios y medicamentos con magnesio.

Mantener las concentraciones de magnesio en nuestro cuerpo es una tarea que cada persona debe procurar. Si una persona tiene algún problema de salud a nivel metabólico, diabetes, hipertensión, obesidad, es factible que la filtración del magnesio no se realice de manera correcta. Esto generaría concentraciones elevadas o bajas de este elemento (Macías-Carballo, Rosas-Navarro, López-Meraz, Beltrán-Parrazal & Morgado-Valle, 2021).

Tabla 1. Ejemplo de alimentos y el macro y micronutriente que nos aporta

<i>Nutriente</i>	<i>Alimentos recomendados</i>
<i>Carbohidratos (azúcares)</i>	Avena, arroz integral, quinoa, pan integral, frutas (plátano, fresas, arándanos, manzana, naranja)
<i>Lípidos (grasas)</i>	Pescado graso (salmón, atún, sardinas), aguacate, nueces y semillas (nueces, almendras, semillas de chía, semillas de linaza), aceite de oliva virgen extra, huevos
<i>Proteínas</i>	Pollo, pavo, pescado, tofu, legumbres (lentejas, garbanzos, frijoles), yogur natural, leche y alternativas vegetales enriquecidas (almendra, soya)
<i>Hierro</i>	Carne roja magra, espinacas, lentejas, frijoles, tofu, cereales fortificados
<i>Yodo</i>	Pescado, mariscos, lácteos, huevos, sal yodada
<i>Zinc</i>	Carne roja, mariscos, nueces, semillas (calabaza, sésamo), legumbres
<i>Calcio</i>	Lácteos, vegetales de hoja verde, almendras, tofu fortificado
<i>Magnesio</i>	Espinacas, almendras, semillas de calabaza, frijoles

Conclusión

La inteligencia humana se distingue por la complejidad y el tamaño de nuestros cerebros, que requieren un suministro constante de energía y nutrientes para su desarrollo y funcionamiento óptimo. Los macronutrientes, como carbohidratos, proteínas y lípidos, son fundamentales para la estructura y la comunicación entre las células cerebrales, mientras que los micronutrientes, incluyendo hierro, yodo, zinc, calcio y magnesio, desempeñan roles críticos en el desarrollo neurológico y la salud mental.

La glucosa es esencial como fuente de energía para el cerebro, y un adecuado equilibrio de colesterol es necesario para el aprendizaje y la memoria. Las proteínas son cruciales para la formación de neurotransmisores y la conectividad

neuronal. La deficiencia de nutrientes puede llevar a problemas cognitivos, de comportamiento y enfermedades neurodegenerativas.

Mantener una dieta equilibrada y una adecuada hidratación es vital para preservar la salud cerebral y prevenir trastornos mentales, siempre con la guía de un especialista.

Lecturas recomendadas

- Cheon, S. Y. (2023). Impaired Cholesterol Metabolism, Neurons, and Neuropsychiatric Disorders. *Exp Neurobiol*, 32(2), 57-67. doi: 10.5607/en23010
- Förster, J., & López, I. (2022). Neurodesarrollo humano: Un proceso de cambio continuo de un sistema abierto y sensible al contexto. *Revista Médica Clínica Las Condes*. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rmcl.2022.06.001>
- González, H. F., & Visentin, S. (2016). Micronutrients and neurodevelopment: An update. *Arch Argent Pediatr*, 114(6), 570-575. doi: 10.5546/aap.2016.eng.570
- Macías-Carballo, M., Rosas-Navarro, S., López-Meraz, M. L., Beltrán-Parrazal, L., & Morgado-Valle, C. (2021). Anxiolytic effect of chronic intake of supplemental magnesium chloride in rat. *Behav Brain Res*, 413, 113460. doi: 10.1016/j.bbr.2021.113460
- Marrero Aliño, M. (2016). Nutrición cerebral. Estado del arte. *Rev Acta Médica*, 17(2).
- Nosotros, P. C. (2020). *Porcentaje alimenticio y vitamínico para lograr un equilibrio dietético perfecto*. Elsevier.
- Oficina de Comunicaciones y Enlace Público, I. N. d. T. N. y. A. C., Institutos Nacionales de Salud. (Producer). (2022). *Conceptos básicos del cerebro: Genes que actúan en el cerebro*.
- Rosales-Reynoso, M. A., Juárez-Vázquez, C. I., & Barros-Núñez, P. (2018). Evolution and genomics of the human brain. *Neurología (Engl Ed)*, 33(4), 254-265. doi: 10.1016/j.nrl.2015.06.002

¿Qué son las leyes de la lógica?

SOFÍA MELÉNDEZ GUTIÉRREZ*

Introducción

Las leyes de la lógica son el objeto de este texto; pero ¿qué es la lógica? Ordinariamente se la define como el estudio de las leyes del pensamiento o el razonamiento, pero existen una variedad de otras definiciones (*cf.* e. g. Hofweber, 2023, §2). Le propongo al lector que, mientras lea este artículo al menos, adopte la definición del matemático y filósofo alemán Gottlob Frege (1848-1925). En 1879, Frege publicó un breve libro titulado *Begriffsschrift—Ideografía* en sus traducciones al español. Este libro contiene lo que en nuestros días describimos como una *formalización* de la *lógica cuantificacional* o *lógica de predicados*. Sería exagerado decir que *Begriffsschrift* constituye el mayor avance ocurrido en el área de la lógica desde Aristóteles, pero no sería enteramente falso (Potter, 2008: 44). Según Frege, la lógica no es el estudio de las leyes del pensamiento ni en un sentido *descriptivo* ni en uno *normativo*: la lógica no estudia cómo pensamos de hecho, ni cómo debemos pensar. La lógica, dice Frege, es el estudio de las leyes *de la verdad* —y, más específicamente, el estudio de las leyes que rigen la interacción entre la verdad de cualquier enunciado dado y la verdad de los demás enunciados—. Esta definición precisa algunos refinamientos, pero es más acertada que

* Instituto de Investigaciones Filosóficas, Universidad Nacional Autónoma de México.

la anterior (Smith, 2012: 3 y 4): hemos de atender a las leyes de la lógica sólo en tanto y en cuanto que el fin de nuestro pensamiento sea el de *rastrear* la verdad —pero entonces las leyes de la lógica son las leyes de la verdad y no las del pensamiento.

Aun si determinamos que las leyes de la lógica son las leyes de la verdad, hay una larga serie de preguntas que estas leyes suscitan. El propósito de este artículo es exponer dos de ellas —y, más específicamente, dos que considero particularmente inquietantes—. Para hacerlo, relataré, en las primeras cuatro secciones de este artículo, un episodio intensamente desconcertante de la historia de la filosofía de la lógica. Luego, en la quinta y última sección mostraré cómo la teoría que causó dicho episodio sugiere que nuestra relación con la lógica es en verdad enigmática. Plantearé mis dos preguntas con base en ese relato y esa demostración.

Verificacionismo y analiticidad

El empirismo lógico es un movimiento filosófico que floreció en el siglo pasado en Europa y en Estados Unidos, entre los años veinte y los sesenta. Una de las doctrinas más notables entre las asociadas a este movimiento es la *teoría verificacionista del significado cognitivo* —también llamada *verificacionismo*—. De acuerdo con los empiristas lógicos, la significatividad cognitiva es la propiedad que posee un enunciado que propende a describir qué es el caso, y cuyo contenido es apto para constituir una pieza de conocimiento. El verificacionismo es una teoría acerca de las condiciones bajo las cuales un enunciado es cognitivamente significativo. En realidad, el verificacionismo fue defendido por diversos empiristas lógicos sólo en versiones significativamente diferentes las unas de las otras, y fue también recusado por algunos (*cf.* e. g. Creath, 2023, §4.1). Sin embargo, para los fines del presente artículo podemos caracterizar a esta teoría como sigue: según la teoría verificacionista del significado cognitivo, un enunciado declarativo es cognitivamente significativo si y sólo si su verdad es susceptible de ser confirmada a través de un número finito de observaciones.

La teoría verificacionista tiene como propósito negarles significatividad cognitiva a los enunciados teísticos (e. g. “Dios es omnibenevolente”) y metafísicos en general (e. g. “La nada nada”). Sin embargo, esta teoría tiene una implicación peculiar: si es verdadera, entonces tanto las leyes de la lógica como

las verdades matemáticas carecen de significado cognitivo. Consideremos, por ejemplo, el siguiente teorema de la teoría de conjuntos:

Existe un único conjunto vacío

Llamemos “*teorema de singularidad*” a este teorema. El axioma de *extensionalidad* en la teoría de conjuntos dice que un conjunto *A* y un conjunto *B* son uno y el mismo si y sólo si estos conjuntos comparten cada uno de sus elementos. Este axioma implica que *A* y *B* son dos conjuntos distintos sólo si uno o varios objetos están en uno de estos conjuntos y no en el otro. Supongamos que *A* carece de elementos y que *B* carece de elementos también: no hay, entonces, un solo objeto que esté contenido en *A* y no en *B*, y tampoco uno que esté contenido en *B* y no en *A*. Se sigue así que *A* y *B* son uno y el mismo: existe sólo un conjunto vacío. El teorema de singularidad, pues, es una consecuencia lógica del axioma de extensionalidad. Sin embargo, es imposible verificar la verdad de esa consecuencia por la vía observacional: el reino de los conjuntos no es observable; es imposible escrutar para determinar si es verdad que está habitado por un solo conjunto vacío. Así, si la teoría verificacionista del significado cognitivo, tal como la formulé antes, es verdadera, entonces el teorema de singularidad no tiene significado cognitivo. Consideremos ahora una de las leyes de la lógica —una llamada *ley del tercero excluso*:

Para cualquier enunciado “A”, “A o no A” es verdadero

Es fácil observar que la ley del tercero excluso genera predicciones correctas: tal como la ley lo predice, es verdad que hoy es domingo o no es domingo; es verdad que el oro es dúctil o no es dúctil; y es verdad que el ajolote es o no es una salamandra paedomórfica. Sin embargo, los enunciados que podemos configurar en nuestro lenguaje son infinitos, así que tendríamos que hacer un número infinito de observaciones para verificar que, dado *cualquier* enunciado “*A*”, “*A* o no *A*” es verdadero.²

Como hemos visto, la teoría verificacionista del significado cognitivo dice que un enunciado es cognitivamente significativo si y sólo si su verdad puede

2 Para comprobar que los enunciados de nuestro lenguaje son efectivamente infinitos, basta notar que a cualquiera de ellos —al que sea— puede anteponérsele el prefijo “Marco Flaminio Rufo dijo que” (o uno similar) para generar un enunciado nuevo.

ser confirmada a través de una cantidad *finita* de observaciones —así que, según esta teoría, la ley del tercero excluido carece de significado cognitivo.

La lógica y las matemáticas constituyen ambas herramientas descriptivas e inferenciales indispensables para la ciencia empírica (Putnam, 1978; Quine, 1981). Sin embargo, parece claro que quienes practican la ciencia empírica tienen el compromiso de producir enunciados cognitivamente significativos —i. e. enunciados que propenden a describir qué es el caso, y cuyos contenidos son aptos para constituir conocimiento—. Si las leyes de la lógica y las verdades matemáticas carecen de significado cognitivo, hacer uso de ellas a la hora de hacer ciencia empírica implica descarrilar a quienes hacen ciencia empírica de su compromiso con la significatividad cognitiva. Los empiristas lógicos compartían un intenso interés filosófico en los métodos de la ciencia empírica, y sostenían una variedad de convicciones filosóficas al respecto. Ninguna de esas convicciones, no obstante, implicaba que la ciencia empírica debiera abandonar su uso de las matemáticas o la lógica. Para los empiristas lógicos, entonces, era apremiante adicionar a la teoría verificacionista con una justificación para el uso en la ciencia empírica tanto de la lógica como de las matemáticas.

Como al objeto de este artículo lo constituyen las leyes de la lógica, y no las matemáticas, me limitaré, en lo que sigue, a discutir la teoría que los empiristas lógicos articularon para justificar específicamente el uso de la lógica. El nombre de esa teoría es “*teoría convencionalista de las leyes lógicas*” o “*convencionalismo*”. Podemos caracterizar al convencionalismo, en términos relativamente burdos, como la teoría que dice que las leyes de la lógica son verdaderas en virtud únicamente de ciertas convenciones semánticas.

Es trivial que hay convenciones semánticas involucradas en la verdad de cada enunciado verdadero. Consideremos, por ejemplo, el siguiente enunciado:

El jade es verde

Este enunciado es verdadero, y lo es, por supuesto, porque el jade es efectivamente verde. Evidentemente, no es en virtud de ninguna convención que el jade es verde, pero aun así hay convención involucrada en la verdad de este enunciado: si la expresión “el jade” no designara al jade, sino, digamos, a la amatista, entonces el enunciado sería falso. Es por convención que usamos la expresión “el jade” para designar al jade y no a ninguna otra cosa, así que la

verdad de este enunciado involucra una convención semántica. Sin embargo, la teoría convencionalista de los empiristas lógicos no es la tesis trivial de que la verdad de cualquier enunciado verdadero involucra una convención semántica: lo que la teoría convencionalista dice es que cada una de las leyes de la lógica es verdadera en virtud únicamente de una convención de este tipo. Consideremos una más de estas leyes:

Todos los individuos son idénticos a sí mismos

Ésta es la *ley de identidad*. De acuerdo con el convencionalista, la verdad de la ley de identidad puede explicarse enteramente en términos del significado de las expresiones que la constituyen. Por ejemplo: el término “identidad” designa a la relación que cada individuo tiene consigo mismo. Por lo tanto, el predicado “es idéntico a sí mismo” puede atribuírsele con verdad a todos los individuos. Como el sujeto gramatical de la ley de identidad es la expresión “todos los individuos”, la ley es verdadera. Así, concluye el convencionalista, los significados de las expresiones constitutivas de la ley de identidad bastan para explicar su verdad; la ley, pues, es verdadera en virtud *meramente* de esos significados. Y, dado que las expresiones de nuestro lenguaje tienen los significados que tienen por causa de nuestras convenciones, es en virtud únicamente de convenciones semánticas que la ley de identidad es verdadera.

Por siglos, algunos filósofos han supuesto que existen dos grandes categorías en las que los enunciados verdaderos pueden ser clasificados: la categoría de los enunciados *sintéticos*, y la categoría de los enunciados *analíticos*. Los enunciados sintéticos son aquellos cuya verdad depende de que ciertos hechos acaezcan. El enunciado que expuse arriba acerca del color del jade, por ejemplo, es sintético, pues su verdad depende de que, en los hechos, el jade sea efectivamente verde. Los enunciados analíticos, por otro lado, no son generalmente aceptados: muchos filósofos —quizás la mayoría— dudan de su existencia.³

Quienes sí creen en la existencia de enunciados analíticos, no obstante, sostienen que estos enunciados son aquellos cuya verdad depende enteramente de los significados de las expresiones que los constituyen. Por ejemplo:

3 Este rechazo generalizado de los enunciados analíticos surgió de una serie de argumentos formulados por Quine (1951; 1966).

Todos los triángulos tienen tres ángulos

Como el término “triángulo” designa a las figuras de tres ángulos, este enunciado es (supuestamente) verdadero en virtud nada más del significado de sus expresiones constitutivas: la verdad de este enunciado, a diferencia de la verdad del enunciado del jade, no depende (supuestamente) de la acaencia de ningún hecho.

Armados con la distinción entre verdad sintética y verdad analítica, podemos formular la teoría convencionalista ahora de manera más perspicua que antes: la teoría convencionalista es aquella que dice que las leyes de la lógica son analíticas; que las leyes de la lógica, esto es, son verdaderas con independencia radical de todos los hechos.

Los empiristas lógicos usaron la teoría convencionalista para adicionar al verificacionismo con una justificación para el uso de la lógica en la ciencia empírica. De acuerdo con la doctrina que resultó de tal adición, los enunciados que poseen significatividad cognitiva pertenecen a dos categorías. La primera engloba a los enunciados cuya verdad es susceptible de ser confirmada a través de un número finito de observaciones; la segunda es la categoría de los enunciados analíticos. De esta doctrina se sigue, por supuesto, que las leyes de la lógica son cognitivamente significativas y, consecuentemente, que su uso en la ciencia empírica está justificado. En las secciones siguientes, no obstante, el foco del presente texto será no la doctrina verificacionista, sino el convencionalismo.

Aquiles y la tortuga

La teoría convencionalista de la lógica goza de poca simpatía en el presente.⁴ Uno de sus primeros y más feroces críticos fue el filósofo estadounidense Willard Van Orman Quine (1908-2000). Uno de los más prominentes entre los múltiples argumentos que Quine avanzó contra la teoría convencionalista está basado en una fábula filosófica (viz. 1895) del escritor y matemático inglés Lewis Carroll (1831-1878) —el autor de *Alicia en el país de las maravillas*—. Reconstruiré esta fábula enseguida.

Un enunciado condicional es un enunciado de la forma “Si A, entonces B”. La primera parte de un enunciado condicional (i. e. “A” en el ejemplo) se llama

4 Dos excepciones recientes son Russell (2008) y Warren (2015; 2017).

“*antecedente*”; la segunda (i. e. “*B*” en el ejemplo), “*consecuente*”. Una de las leyes de la lógica —una llamada “*modus ponens*”— establece que, si un enunciado condicional y su antecedente son verdaderos, entonces el consecuente es verdadero también:

Para cualesquier enunciados “A” y “B”: si “Si A, entonces B” es verdadero, y “A” es verdadero, entonces “B” es verdadero también.

En la fábula de Carroll, una tortuga le pide a Aquiles que considere los siguientes enunciados:

1. *Si los individuos a y b son idénticos a c, entonces a y b son idénticos el uno al otro.*
2. *a y b son idénticos a c.*
- n. a y b son idénticos el uno al otro.*

La tortuga le cuenta a Aquiles que está convencida de que (1) y (2) son verdaderos, pero se niega a creer que (n) lo sea. (1) es un enunciado condicional; (2) es el antecedente de ese enunciado, y (n), su consecuente. Por lo tanto, partir de (1) y (2) para inferir (n) requiere que la tortuga haga un *modus ponens* —pero ella se niega a hacerlo.

La tortuga le pide entonces a Aquiles que la convenza de la verdad de (n). Aquiles intenta convencerla indicándole que adopte el siguiente enunciado como verdadero:

3. *Si (1) y (2) son verdaderos, entonces (n) es verdadero.*

La tortuga accede a adoptar (3), pero luego le dice a Aquiles que todavía no está convencida de la verdad de (n). La tortuga ahora tiene a (3) por verdadero. (3) es un condicional; su antecedente dice que (1) y (2) son verdaderos, y su consecuente, que (n) es verdadero. La tortuga está convencida de que (1) y (2) son verdaderos y, por lo tanto, inferir que (n) es verdadero requiere que la tortuga haga un *modus ponens* —pero ésa es precisamente la inferencia que la tortuga se niega a hacer.

En un segundo intento de convencerla, Aquiles le indica a la tortuga que adopte el siguiente enunciado:

4. Si (1), (2) y (3) son verdaderos, entonces (n) es verdadero.

La tortuga accede a adoptar (4), pero luego le confiesa a Aquiles que todavía no está convencida de la verdad de (n). La tortuga tiene ahora a (4) por verdadero; y, además, está segura de que el antecedente de (4) es verdadero también —está segura, esto es, de que (1), (2) y (3) son verdaderos—. El consecuente de (4) dice que (n) es verdadero y, para alcanzarlo, la tortuga debe hacer un *modus ponens* —pero ella, evidentemente, no quiere hacerlo—. Aquiles le pide entonces a la tortuga que adopte un enunciado más:

5. Si (1), (2), (3) y (4) son verdaderos, entonces (n) es verdadero.

La petición de Aquiles resulta, por supuesto, inútil. Y, eventualmente, Aquiles se da cuenta de que no va a lograr convencer a la tortuga jamás: podría quedarse ahí para siempre, pidiéndole a la tortuga que acepte más y más enunciados, y ninguno de ellos acercaría a la tortuga —ni siquiera un poco— a la verdad de (n).

Verdad por convención

Volvamos al convencionalismo. Hemos visto que el convencionalista sostiene que las leyes lógicas son verdaderas en virtud de las convenciones por medio de las cuales les otorgamos significado a las expresiones de nuestro lenguaje. Cuando le otorgamos significado a una expresión, observa Quine (1966: 71), lo hacemos estipulando que esa expresión ha de significar lo mismo que otra. Cuando le otorgamos significado al término “2”, por ejemplo, lo hicimos estipulando que ese término habría de designar lo mismo que la expresión “1+1”. Quine (1966: 72-81) nota, además, que cuando definimos una expresión en términos de otra, podemos sustituirlas la una por la otra *salva veritate* en cualquier enunciado verdadero —podemos sustituirlas, esto es, sin causar que el enunciado pierda su verdad—. Consideremos, por ejemplo, el siguiente enunciado verdadero:

$$1+1=1+1$$

Tal como afirma Quine, cualquiera de las ocurrencias de la expresión “1+1” puede ser sustituida en este enunciado por el término “2” sin causar que el enunciado deje de ser verdadero. Observemos:

$$1+1=2$$

En ocasiones, dice Quine (1966: 72-81), cuando realizamos una sustitución como ésta podemos tener la impresión de haber producido un enunciado que es verdadero meramente en virtud del significado de sus expresiones constitutivas: el enunciado que resultó de la sustitución, parece, es verdadero meramente en virtud del hecho de que el significado del signo “=” es tal que el enunciado en cuestión es verdadero si y sólo si las expresiones a ambos lados del signo designan a la misma entidad; y “2”, por estipulación, designa a la misma entidad que “1+1”. Parece, así, que el enunciado es verdadero meramente en virtud de nuestras convenciones semánticas —pero, según Quine, no lo es—. El segundo de los enunciados de arriba significa lo mismo que el primero porque convenimos que “2” significa lo mismo que “1+1”. El segundo enunciado, entonces, significa lo mismo que el primero por convención —pero eso es todo lo que es el caso en virtud de una convención—. Como convenimos que el segundo enunciado significara lo mismo que el primero, el segundo *heredó* su verdad del primero; y la verdad del primero *no es*, insiste Quine, producto de ninguna convención: el primer enunciado es verdadero en virtud de que cierto hecho acaece —a saber, el hecho de que la entidad designada por la expresión “1+1” es, efectivamente, idéntica a sí misma— (1966: 72-81). Quizás sea imposible imaginarnos siquiera que dicha entidad no fuera idéntica a sí misma; pero, si no lo fuera, el enunciado en cuestión sería falso —y, por lo tanto, su verdad demanda que la entidad sí sea idéntica a misma.

De acuerdo con Quine, pues, el hecho de que nuestras expresiones adquieran significado por estipulación no basta para establecer que haya verdades meramente convencionales: nuestras expresiones adquieren significado por causa de nuestras convenciones, sí —pero el hecho de que cualquiera de los enunciados que esas expresiones configuran sea verdadero depende de que, en los hechos, las cosas sean como el enunciado las describe—. Así, sostiene Quine (1966: 82-85), si las leyes lógicas son verdaderas en virtud *nada más* de nuestras convenciones semánticas, entonces debemos suponer que cada una de estas leyes es un enunciado que fue simplemente *declarado verdadero* —establecido como verdadero, esto es, por pura estipulación—. De acuerdo con esta hipótesis, *modus ponens*, por ejemplo, es una ley verdadera porque, en algún momento del tiempo, hicimos la siguiente estipulación:

Para cualesquier enunciados “A” y “B”: si “Si A, entonces B” es verdadero, y “A” es verdadero, entonces “B” es verdadero también.

De acuerdo con la hipótesis que estamos considerando, las leyes de la lógica son leyes que adoptamos tras haberlas declarado verdaderas en algún momento del tiempo —pero entonces, dice Quine, la hipótesis en cuestión es falsa.

Supongamos que, en un momento del tiempo anterior al establecimiento del *modus ponens*, un individuo *a* pondera el hecho de que el día corriente es domingo; *a* cree que, si hoy es domingo, entonces mañana es lunes —y, aun así, *a* no llega a concluir que mañana es lunes—. En ese momento, un individuo *b* aparece y le informa a *a* que una nueva ley llamada *modus ponens* acaba de declararse verdadera; *b* le comparte a *a* el contenido de esta nueva ley, y *a* le contesta a *b* que está dispuesto a aceptarla.

a no pudo concluir que mañana es lunes con base en su convicción de que, si hoy es domingo, entonces mañana es lunes, y hoy es domingo. La declaración de *modus ponens* como verdadera, no obstante, implica, obviamente, lo siguiente:

Si “Si hoy es domingo, entonces mañana es lunes” es verdadero, y “Hoy es domingo” es verdadero, entonces “Mañana es lunes” es verdadero también.

La nueva ley implica, pues, que de las convicciones de *a* se sigue que “Mañana es lunes” es verdadero. Sin embargo, deducir que “Mañana es lunes” es verdadero con base en esta implicación de la nueva ley requiere la realización de un *modus ponens*. La implicación en cuestión es un condicional. El antecedente de este condicional está constituido por las convicciones de *a*; su consecuente dice que “Mañana es lunes” es verdadero. Por lo tanto, para concluir que “Mañana es lunes” es verdadero con base en esta implicación de la nueva ley, *a* debe conjuntar la implicación (i. e. el condicional) y sus propias convicciones (i. e. el antecedente del condicional), y hacer un *modus ponens*. Desafortunadamente, *a* no puede hacer ese *modus ponens*. Como nota la filósofa Anand Hattiangadi (2023), que *a* acepte la nueva ley no basta para que *a* comience a razonar con base en esa ley, pues las leyes no se aplican a sí mismas; *a* ya aceptó la nueva ley, pero, para hacer uso de ella —para hacer, ahora sí, deducciones con base en ella— *a* debe él mismo aplicar la ley en sus razonamientos. Como acabamos

de ver, no obstante, para aplicar la ley a sus convicciones actuales, *a* debe hacer un *modus ponens* —y eso es precisamente lo que *a* no sabe hacer.

Según Quine, la moraleja de la fábula de Carroll es la siguiente: alguien que, como la tortuga de Carroll, no razona ya en acuerdo con las leyes de la lógica es radicalmente incapaz de tomarlas de pronto y comenzar a hacer uso de ellas. El caso hipotético de *a* nos deja claro por qué: si *a* antes no pudo ver que sus propias convicciones implican que mañana es lunes, entonces no va a poder ver que una consecuencia de la nueva ley implica, en conjunción con esas convicciones, que “Mañana es lunes” es verdadero. Ver lo primero requiere que *a* razone en acuerdo con *modus ponens*, pero *a* ahora mismo no razona en acuerdo con *modus ponens*. Sorprendentemente, ver lo segundo también requiere que *a* razone en acuerdo con *modus ponens*. Como *a* ahora mismo no hace eso, entonces *a* no va a ver la implicación en cuestión; *a*, esto es, no va a lograr jamás aplicar la nueva ley a sus convicciones.

Así pues, aceptar la nueva ley no va a modificar los mecanismos inferenciales de *a* en lo absoluto; no va a permitirle, por ejemplo, darse cuenta de que mañana es lunes. Para sacarles consecuencias a sus convicciones con base en la nueva ley, *a* debe hacer un *modus ponens*, pero *a* no sabe hacer *modus ponens*, así que *a* no va a lograr aplicar la nueva ley a sus convicciones jamás. *a* no va a ver nunca que sus convicciones implican que mañana es lunes —y no lo va a hacer ni siquiera después de aceptar la nueva ley.

El caso de *a* nos muestra, así, que para lograr derivar cualquier cosa de las leyes de la lógica es requisito razonar en acuerdo con esas leyes. Consecuentemente, un individuo que no razona ya de entrada en acuerdo con las leyes lógicas, no puede derivar nada de ellas; no puede ver siquiera cómo esas leyes son aplicables a ningún razonamiento particular. Las leyes de la lógica, por lo tanto, no pueden ser *adoptadas*: no podemos comenzar en ningún punto a razonar con base en esas leyes si no razonábamos ya desde antes en acuerdo con ellas. Así, si hubiéramos declarado verdaderas a las leyes de la lógica en algún momento del tiempo —si hubiéramos convenido, en algún momento del tiempo, adoptar estas leyes—, habríamos sido incapaces de razonar en acuerdo con ellas. Como es claro que sí somos capaces de razonar en acuerdo con ellas, debemos concluir que *no* son verdaderas por convención. Debemos concluir, afirma Quine, que el convencionalismo es falso (1966: 86-97).

La red doxástica

Como dije arriba, un enunciado sintético es uno cuya verdad depende de que algún hecho acaezca. Los postulados de la ciencia empírica —los de la física, la biología y las ciencias cognitivas, por ejemplo— son todos sintéticos: la verdad de cualquiera de estos postulados depende de que acaezca cierto hecho. Antes vimos, no obstante, que el convencionalista sostiene que las leyes de la lógica no son sintéticas, sino analíticas. De acuerdo con el convencionalista, las leyes de la lógica son *excepcionales* por contraste con los postulados de la ciencia empírica. El convencionalismo es, pues, una teoría *excepcionalista* acerca de las leyes de la lógica.

En la sección anterior vimos que, según Quine, el convencionalismo es falso. Quine, no obstante, no se limitó a rechazar el convencionalismo: también avanzó una teoría alternativa. El nombre de esta teoría es “*empirismo acerca de las leyes de la lógica*”. El empirismo acerca de las leyes de la lógica es una teoría *anti-excepcionalista*; es una teoría que dice que las leyes lógicas *no* son excepcionales en relación con los postulados de la ciencia empírica. El empirismo, en términos sucintos, dice que las leyes de la lógica *no* son analíticas.

A veces nos equivocamos a la hora de juzgar cuáles son los hechos que acaecen: pensamos, por ejemplo, que una pepita es de oro, y nos damos cuenta después de que en realidad es pirita; pensamos que los quetzales tienen todos plumajes coloridos, y luego nos damos cuenta de que algunos son completamente albinos. Esto implica que un enunciado sintético que creíamos verdadero puede resultar falso; que una observación —de la estructura molecular de una pepita; de un quetzal albino a la distancia en la selva nayarita— puede llevarnos a concluir que uno de los enunciados sintéticos que considerábamos verdaderos es, en realidad, falso. El *valor veritativo* de un enunciado sintético es, pues, revisable: podemos declarar falso a ese enunciado después de haberlo tenido por verdadero. Los enunciados analíticos, por otro lado, no son revisables: como su verdad es independiente de que cualesquier hechos acaezcan, son verdaderos *pase lo que pase*; ninguna observación de ningún hecho puede llevarnos a concluir que esos enunciados son falsos.

Como en la teoría de Quine las leyes de la lógica no son analíticas, estas leyes, en dicha teoría, son revisables. El texto en el que Quine describió la revisabilidad de la lógica comprende una metáfora célebre:

La totalidad de lo que llamamos “conocimiento” o “creencias”, desde las cuestiones más causales de la historia y la geografía, hasta las leyes más profundas de la física atómica, e incluso de las matemáticas y la lógica, constituye un tejido construido por los humanos que está adherido a la experiencia sólo a lo largo de sus orillas. [...] Un conflicto con la experiencia en la periferia ocasiona reajustes en el interior de [la red]. Los valores veritativos deben ser redistribuidos en algunos de nuestros enunciados. La revaluación de algunos enunciados implica la revaluación de otros debido a sus interconexiones lógicas —y las leyes de la lógica son simplemente otros más de los enunciados del sistema, otros más de los elementos de [la red]—. Habiendo revaluado un enunciado, debemos revaluar algunos otros, que pueden ser los enunciados que están lógicamente conectados con el primero, o [las leyes lógicas mismas]. [...] [N]ingún enunciado es inmune a revisión (1951: 39 y 40).⁵

Quine sostiene, pues, que la totalidad de los enunciados en los que nuestras creencias están expresadas constituyen una red que está, a lo largo de sus bordes, adherida a la experiencia. En consecuencia, nuestras observaciones tienen el poder de ocasionar revisiones y redistribuciones en los valores veritativos que les atribuimos a los enunciados de la red. De manera importante, además, las leyes de la lógica no son más que nodos de esta red —así que también ellas están sujetas a revisión.

Quine (1951: 40) llama “*experiencias recalcitrantes*” a las observaciones que entran en conflicto con los valores veritativos de los nodos de la red, y nos impelen a revisar y redistribuir esos valores. Si le hemos asignado verdad al nodo de la red que corresponde al enunciado que dice que todos los quetzales tienen un plumaje colorido, por ejemplo, entonces la observación de un quetzal albino constituye una experiencia recalcitrante. Sin embargo, Quine sostiene que los nodos de la red no enfrentan al “tribunal de la experiencia” uno por uno, sino como un “cuerpo colectivo” (1951: 38). Dado esto, un encuentro con una experiencia recalcitrante no causa, en realidad, un conflicto con nodos específicos de la red, sino con la red en su totalidad; y, consecuentemente, podemos elegir cualquier área de la red para llevar a cabo las revisiones y redistribuciones requeridas —incluida el área ocupada por las leyes de la lógica—. Observemos un ejemplo. La ley lógica de *instanciación universal* dice lo siguiente:

5 La traducción del original en inglés es mía.

La verdad de todo enunciado universal verdadero implica la verdad de cada una de las instancias de ese enunciado

Un enunciado universal es uno que dice que todos los individuos de una clase dada tienen una propiedad *P*; un enunciado que le atribuye *P* a uno de los individuos de esa clase es una *instancia* de dicho enunciado universal. Así, la ley de instanciación universal implica lo siguiente: si es verdad que todos los miembros de una clase dada son *P*, entonces podemos atribuirle *P* con verdad a cada uno de los miembros de esa clase. Consideremos ahora el siguiente enunciado universal:

Todos los quetzales tienen plumajes coloridos

Supongamos que este enunciado en nuestra red de creencias tiene asignado el valor veritativo de la verdad; pero, un día, en un paseo por la selva nayarita, en un momento del tiempo *t*, observamos un quetzal que no tiene un plumaje colorido: un quetzal completamente albino. La reacción más natural que podemos tener ante esta observación recalcitrante, parece, consiste en añadir a la red el siguiente enunciado y asignarle el valor veritativo de la verdad:

El quetzal que vi en la selva nayarita en t no tiene un plumaje colorido

Añadir este enunciado a la red y asignarle verdad, no obstante, no basta, pues la observación del quetzal albino constituye una experiencia recalcitrante. La verdad que le asignamos al enunciado universal de arriba implica, en virtud de la ley de instanciación universal, que cada quetzal tiene un plumaje colorido. De ese enunciado se sigue, por lo tanto, que el quetzal que observamos en la selva nayarita tiene un plumaje colorido. Como tenemos ahora por verdadero al enunciado que dice que ese quetzal *no* tiene un plumaje colorido, los nodos de nuestra red están en conflicto.⁶

6 Quine opina que este conflicto tendría que conducirnos a revisar los valores veritativos de los nodos de la red; ¿pero por qué tendría que hacerlo? El lector se dio cuenta quizás de que el conflicto en cuestión no es más que una contradicción. La ley lógica de la no contradicción dice que dos enunciados contradictorios no son nunca ambos verdaderos. Tal vez Quine piensa, entonces, que un conflicto nos conduce a revisar valores veritativos porque los enunciados involucrados en un conflicto son contradictorios y, por ende, no pueden ser verdaderos ambos. Si eso es así, no obstante, entonces la construcción del propio Quine de la red doxástica

De acuerdo con Quine, lo que debemos hacer en respuesta a un conflicto como éste es revisar y redistribuir los valores veritativos de los nodos. Parece obvio que, en este caso particular, lo que debemos hacer es volver falso el nodo que corresponde al enunciado universal de arriba —renunciar, esto es, a nuestra convicción de que todos los quetzales tienen plumajes coloridos—. De acuerdo con Quine, no obstante, tal renuncia constituye una sola alternativa entre varias: podemos, también, negarle verdad al enunciado que dice que el quetzal que vimos era albino; podemos suponer que el ave blanca que creímos observar no era más que una alucinación (1951: 40). Y podemos, alternatively, abandonar la ley de instanciación universal. Es decir: podemos sostener como verdaderos, a la vez, el enunciado que dice que todos los quetzales tienen plumajes coloridos, y el que dice que el quetzal que vimos no tenía un plumaje colorido —y rechazar, por otro lado, la ley lógica que implica que estos dos enunciados no pueden ser ambos verdaderos.

Según Quine, la razón de que solamos no elegir las leyes de la lógica para revisarlas ante nuestras experiencias recalcitrantes es meramente pragmática: es más fácil renunciar a nuestras convicciones relativas a los colores de los quetzales que renunciar a una ley en acuerdo con la cual razonamos todo el tiempo y en todos los ámbitos de la vida. Sin embargo, Quine sostiene que hay experiencias *tan* recalcitrantes, como ésas producidas por la observación de fenómenos cuánticos, que parece plausible que su existencia amerite una revisión a las leyes de la lógica (1951: 40; véanse también Birkhoff & Von Neumann, 1937; Putnam, 1968).

La teoría de Quine es sin duda asombrosa; pero, en un artículo reciente, el lógico y filósofo estadounidense Saul A. Kripke (1940-2022) defendió una tesis que es, me parece, aún más asombrosa: el argumento que Quine usó contra el convencionalista, afirma Kripke, puede ser usado también en contra de la teoría empirista del propio Quine (2023: 14). Según Kripke, la teoría de Quine implica que leyes de la lógica son *meras hipótesis* que nosotros elegimos,

implica que el empirismo es falso. Si la red está caracterizada por su sujeción a un proceso repetitivo de generación empírica de conflictos que se resuelven por medio de revisiones veritativas, y la existencia de conflictos depende de la ley de no contradicción, entonces la ley de no contradicción no es uno más de los nodos revisables de la red: es un principio que *gobierna* el funcionamiento de la red y, por lo tanto, no es revisable (Arnold & Shapiro, 2007).

a veces, adoptar (2023: 15). Esa afirmación, sostiene Kripke, es severamente problemática:

“Y el problema [...] es éste: si las [leyes] lógicas son meras hipótesis [...] y uno puede adoptarlas a voluntad, ¿cómo podría uno, salvo que tenga ya a la lógica de entrada, deducir nada a partir de ellas? (2023: 15).⁷

La idea con la que Kripke confronta a Quine, pues, es *la misma* que Quine avanzó contra el convencionalista: para lograr derivar cualquier cosa de leyes de la lógica es requisito razonar en acuerdo con esas leyes y, por lo tanto, las leyes de la lógica no pueden ser adoptadas; no podemos comenzar en ningún punto a razonar con base en esas leyes si no razonábamos ya desde antes en acuerdo con ellas.

Consideremos, en aras de la claridad, una ilustración más de esta idea. Supongamos que *a* es un individuo que no razona actualmente en acuerdo con acuerdo con la ley de instanciación universal. *a* tiene por verdadero el siguiente enunciado universal:

Todos los jaguares son felinos

Y, sin embargo, *a* se encuentra con un jaguar en un momento del tiempo *t*, y duda que el animal frente a él sea un felino. En un momento posterior del tiempo, no obstante, *a* se propone adoptar la ley de instanciación universal.

Ahora: la ley de instanciación universal es ella misma un enunciado universal, y su verdad implica que cada enunciado universal verdadero es tal que cada una de las instancias de ese enunciado es verdadera. Sin embargo, *a* en *t* no pudo ver que el enunciado “Todos los jaguares son felinos” implica que el jaguar que *a* vio en *t* es un felino. *a* no pudo ver, esto es, que ese enunciado universal implica la verdad de cada una de sus instancias. Dado que eso es así, *a* no va a poder ver tampoco ahora que la ley de instanciación universal implica algo acerca de cada una de *sus* instancias —i. e. acerca de cada enunciado universal—. *a* no va a poder ver, por ejemplo, que dicha ley implica que, si “Todos los jaguares son felinos” es verdadero, entonces el jaguar que *a* vio en *t* es un felino. En términos sucintos: si *a* es de entrada incapaz de ver qué

⁷ La traducción del original en inglés es mía.

se sigue de un enunciado universal cualquiera, entonces, si *a* acepta una ley lógica que es ella misma un enunciado universal, *a* va a ser incapaz de deducir nada a partir de esa ley.

Se sigue así que la ley de instanciación universal no puede ser adoptada: alguien que no razona ya de entrada en acuerdo con ella no puede derivar nada de ella; no puede ver siquiera cómo esa ley es aplicable a ningún razonamiento particular y, por lo tanto, no puede comenzar a razonar con base en ella —no puede, en suma, adoptarla—. Hemos de concluir, mantiene Kripke, que las leyes lógicas *no* son, como lo cree Quine, hipótesis que podemos adoptar y abandonar a voluntad.

El problema de la adopción

En la actualidad se le llama “*problema de la adopción*” a la teoría que dice que las leyes de la lógica no pueden ser adoptadas. Consideremos la siguiente pregunta: ¿son las leyes de la lógica excepcionales con respecto a los enunciados de la ciencia empírica, o son, tal como los enunciados de la ciencia empírica, revisables a la luz de nuestras experiencias recalcitrantes? A primera vista parece que hay exactamente dos respuestas posibles a esta pregunta: la primera dice que las leyes de la lógica sí son excepcionales; la segunda, que no lo son. Como expliqué arriba, el convencionalismo defiende la primera de estas respuestas, y el empirismo, la segunda. El problema de la adopción genera un resultado intensamente desconcertante en relación con estas dos teorías: a pesar de que ambas constituyen respuestas diametralmente antagónicas a la pregunta por la excepcionalidad de la lógica, ambas, parece, colapsan ante el problema de la adopción. Dado esto, parece que tenemos que enfrentarnos a una pregunta pasmosa: ¿qué podemos decir acerca de la naturaleza de las leyes de la lógica si el problema de la adopción implica que no son excepcionales, y también que no es el caso que no son excepcionales?

Además, el problema de la adopción sugiere que nuestra relación con las leyes de la lógica es verdaderamente enigmática. Como vimos antes, un individuo que se propone de manera deliberada adoptar *modus ponens* o la ley de instanciación universal, es radicalmente incapaz de hacerlo. Sin embargo, el problema de la adopción no surge sólo en relación con intentos deliberados de adoptar las leyes de la lógica.

En la epistemología de la lógica, e incluso entre autores que defienden posturas rivales, es casi ubicuo el supuesto de que, si un individuo razona en acuerdo con alguna de las leyes de la lógica en un momento dado del tiempo, lo hace porque en algún momento anterior aceptó dicha ley (Birman, 2023: 38 y 44). En la literatura relevante, a este supuesto se le llama “*cognitivismo inferencial*” (cf. e. g. Birman, 2023: 44). De acuerdo con algunos de los defensores del cognitivismo inferencial, cada individuo, en algún momento de su vida, *abstrae* inconscientemente las leyes de la lógica de los patrones inferenciales que observa en los sujetos de su alrededor; de acuerdo con otros, las leyes de la lógica son *captadas* de manera inconsciente por las personas a partir de una facultad especial a la que podemos llamar “*intuición racional*” (Birman, 2023: 44). En cualquier caso, sostiene el cognitivista inferencial, las personas aprehenden las leyes lógicas en algún momento de sus vidas, y las aceptan de manera explícita o, más comúnmente, tácita —y es en virtud de eso que las personas razonan (a veces, por lo menos) en acuerdo con esas leyes—. Cómo observa la filósofa argentina Romina Birman (2023: 43-47), no obstante, el problema de la adopción implica que el cognitivismo inferencial no puede ser correcto. No importa cuál sea ultimadamente el mecanismo por vía del cual los sujetos aprehenden las leyes de la lógica, y no importa si esos sujetos aceptan dichas leyes de manera tácita o explícita: en cualquier caso, el problema de la adopción implica que un sujeto no puede derivar absolutamente nada de las leyes de la lógica, después de aceptarlas, si no razonaba ya *desde antes* en acuerdo con ellas. Si el sujeto no razonaba *desde antes* en acuerdo con las recientemente aceptadas leyes, entonces no va a poder ver siquiera cómo aplicarlas a ningún razonamiento particular y, por lo tanto, no va a poder razonar con base en ellas. La adopción, en cualquier momento del tiempo, es, entonces, imposible.

De acuerdo con Birman (2023: 55-59), de lo anterior se sigue que, si razonamos en acuerdo con las leyes de la lógica, no lo hacemos en virtud de haberlas aceptado —ni tácita, ni explícitamente—. Razonamos *en acuerdo con* las leyes de la lógica, pero no *con base en* ellas, ni *a partir de* ellas. Razonamos en acuerdo con ellas, pero no lo hacemos con el propósito de acatarlas a la hora de razonar. Y, si eso es así, entonces hay una *segunda* pregunta pasmosa a la que hemos de enfrentarnos: ¿por qué pensamos en acuerdo con las leyes de la lógica si no lo hacemos en virtud de haberlas aprendido y adoptado?

Conclusiones

En las secciones anteriores expliqué cómo el convencionalismo y el empirismo, a pesar de ser teorías antitéticas la una en relación con la otra, colapsan ambas ante el problema de la adopción. También expliqué cómo el problema de la adopción implica que nuestra relación con las leyes de la lógica es verdaderamente enigmática. Luego, con base en lo anterior, planteé dos preguntas. Tengo la esperanza de que dichas preguntas le parezcan al lector tan cautivadoras como me lo parecen a mí —y que, con suerte, susciten en él un grato brote de interés por la lógica.

Lecturas recomendadas

- Arnold, J., & Shapiro, S. (2007). Where in the (World Wide) Web of Belief is the Law of Non-Contradiction? *Noûs*, 41(2), 276-297.
- Birkhoff, G., & Von Neumann, J. (1937). The Logic of Quantum Mechanics. *Journal of Symbolic Logic*, 2(1), 44-45.
- Birman, R. (2023). The Adoption Problem and the Epistemology of Logic. *Mind*, 529, 37-60.
- Carroll, L. (1895). What the Tortoise Said to Achilles. *Mind*, 4(14), 278-280.
- Creath, R. (2023). Logical Empiricism. En E. N. Zalta & U. Nodelman (eds.), *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*.
- Frege, G. (1879). *Begriffsschrift. Eine der arithmetischen nachgebildete Formelsprache des reinen Denkens*. Louis Nebert.
- Hattiangadi, A. (2023). Logical Conventionalism and the Adoption Problem. *Aristotelian Society Supplementary Volume*, 97(1), 47-81.
- Hofweber, T. (2023). Logic and Ontology. En E. N. Zalta & U. Nodelman (eds.), *The Stanford Encyclopaedia of Philosophy*.
- Kripke, S. A. (2023). The Question of Logic. *Mind*, 133(529), 1-36.
- Potter, M. (2008). The Birth of Analytic Philosophy. En D. Moran (ed.), *The Routledge Companion to Twentieth Century Philosophy*. Routledge.
- Putnam, H. (1968). Is Logic Empirical? *Boston Studies in the Philosophy of Science*, 5, 174-197.
- . (1978). Mathematics, Matter and Method. Philosophical Papers. *Philosophy of Science*, 45(1), 151-155.
- Quine, W. V. O. (1951). Two Dogmas of Empiricism. *Philosophical Review*, 60(1), 20-43.

- . (1966). *The Ways of Paradox*. Random.
- . (1981). *Theories and Things*. Harvard University Press.
- Russell, G. K. (2008). *Truth in Virtue of Meaning*. Oxford University Press.
- Smith, N. J. J. (2012). *Logic: The Laws of Truth*. Princeton University Press.
- Warren, J. (2015). The Possibility of Truth by Convention. *Philosophical Quarterly*, 65(258), 84-93.
- . (2017). Revisiting Quine on Truth by Convention. *Journal of Philosophical Logic*, 46(2), 119-139.

La preservación de conocimientos ancestrales: la importancia del ixtle en Jalisco

ADRIÁN ALEJANDRO MONTIEL GONZÁLEZ*

Resumen

En nuestra era, pocas veces pensamos en el origen de las materias primas utilizadas para cocinar, fabricar muebles o confeccionar ropa. Las redes comerciales simplifican su producción y disponibilidad, permitiéndonos concentrarnos en otros asuntos. Menos aún consideramos cómo las generaciones pasadas obtenían estos materiales y, si aún existen, cómo han sobrevivido. Reflexionar sobre la transmisión de conocimientos se vuelve crucial en este contexto. En Jalisco, el ixtle, una fibra derivada de diversas agaváceas, es un ejemplo significativo. El agave, o maguey, es una planta emblemática de México, utilizada desde tiempos prehispánicos para bebidas, miel, medicinas, materiales de construcción y fibras para artículos cotidianos. La elaboración de fibras requiere conocimientos específicos sobre plantas, métodos de cultivo, obtención, procesamiento y elaboración final de los productos, conocimientos preservados gracias a la oralidad y la transmisión intergeneracional, esenciales para mantener estas prácticas vivas frente a la modernidad y el uso de materiales sintéticos.

* Universidad de Guadalajara.

Introducción

En nuestro tiempo, pocas veces reparamos en cómo se obtienen las materias primas para cocinar, fabricar muebles o confeccionar ropa. Las redes comerciales facilitan su producción y disponibilidad, permitiéndonos enfocarnos en otros asuntos. Aún más raro es imaginar cómo las generaciones pasadas conseguían estos materiales y, si aún están presentes, cómo han sobrevivido. Este contexto hace crucial reflexionar sobre la relevancia de la transmisión de conocimientos.

En Jalisco, uno de estos materiales es el ixtle, una fibra obtenida de diversos tipos de agaváceas. El agave o maguey es una de las plantas más representativas de México desde la época prehispánica, y su uso y aprovechamiento han tenido diversos significados a lo largo del tiempo.

En varios estados del país la elaboración de fibras implica conocimientos específicos sobre plantas, métodos de cultivo, obtención, procesamiento y elaboración final de los productos.

La oralidad y la transmisión intergeneracional han sido esenciales para preservar estos saberes tradicionales, en específico los relacionados con distintos tipos de agaváceas como el *Agave americana* y el *Agave inaequidens* en municipios de Jalisco, plantas empleadas históricamente para producir bebida, miel, medicinas, materiales de construcción, además de las fibras destinadas a numerosos artículos cotidianos como hilo para cuerdas y tejidos, principalmente.

Se referirán algunas experiencias en torno a la cultura del agave surgidas de un proyecto de investigación sobre el pulque, el fermento de la savia del maguey.

Se trata de las visitas a localidades de Tapalpa, Concepción de Buenos Aires y Lagos de Moreno. En esas visitas se obtuvo información sobre el proceso de la obtención del ixtle y su uso; también se incluyen testimonios obtenidos en comunidades de los municipios de Atoyac y Gómez Farías con información sobre la obtención y uso en el sur del estado. En todos los casos se trata de referencias indirectas de familiares o amigos, pues las recientes generaciones ya no producen ixtle.

Surge una pregunta importante: ¿qué sucede cuando el uso de estas plantas disminuye debido a la sustitución por materiales sintéticos en algunas comunidades jaliscienses?

Una cultura del maguey

El género agave, con 200 especies, es el más rico en especies de los nueve géneros de la familia *Agavaceae sensu Gentry* que representan el 75% de la distribución de las especies de agave en México, considerado el centro de origen y diversificación.

El estado de Jalisco cuenta con más riqueza en el occidente de México (García-Mendoza, 2004: 159), en las regiones de la Sierra Madre del Sur y el eje Neovolcánico, donde se conservan el mayor número de especies (Vázquez-García, Vargas-Rodríguez y Cházaro B., 2007: 23).

La planta tuvo una relevancia como fuente de líquido en zonas áridas. Posteriormente, la savia y el fermento conocido como pulque generaron una cultura del maguey que originó rituales agrícolas, culto a dioses y rituales que caracterizaron la cosmovisión de los pueblos.

Se decía que cuando había eclipses lunares las mujeres embarazadas ponían en sus vientres hebras de ixtle para que sus pequeños “no salieran sin besos o sin narices, o boquiabiertos, o bizcos, o para que no nacieran monstruos” (Sahagún, 1999: 434).

La llegada de los europeos rompió con la sacralidad y restricciones del fermento, aunque mantuvo su rango de proveedor de muchos servicios en todo territorio donde se aprovechan diversas especies de agaves, nombrado por el religioso Joseph de Acosta como “El árbol de las maravillas”.

“Da agua, y vino, y aceite, y vinagre, y miel, y arroyo, e hilo, y aguja, y otras cien cosas [...] Es un árbol que en la Nueva España estiman mucho los indios y de ordinario tienen en su habitación alguno, o algunos de este género para ayuda a su vida, y en los campos se da, y se cultivan” (Acosta, 2008: 153).

Los significados y prácticas antiguos se transformaron y dieron lugar a la principal bebida de la Nueva España, que generó rentas considerables a la Corona española a través del estanco de pulque con las haciendas concentradas en el centro del país.

El consumo se instaló, lo mismo que el alcoholismo, una problemática social instalada desde los albores de la colonización hasta principios del siglo xx con la disolución de las haciendas pulqueras en el reparto de las haciendas hacia 1917 (Rancaño, 2000: 15).

Sin embargo, el maguey se conservó en las localidades como un recurso valioso donde todavía se procura su cultivo y, entre muchas comunidades, las de Jalisco.

Usos del maguey en Jalisco

Ejemplo de lo anterior son los usos que registran Karen Laitner Bentz y Bruce F. Bentz en el tiempo de la Colonia en Jalisco. Se trata sobre el uso del maguey en la Sierra de Manantlán, citando el trabajo arqueológico de Isabel Kelly.

“El maguey era importante, usado para ‘vino’, vinagre, ‘miel’, cuerda, madera, agujas, clavos, hilo y ungüento para heridas” (Benz, 1994: 23).

Destaca el registro de ropas confeccionadas con algodón y maguey, que suponen el cultivo de esas plantas en la localidad de El Chante y la provincia de Milpa, aunque sin la certeza del tipo de especies cultivadas.

La importancia del agave también es muy aparente en las relaciones etno-históricas. Las especies, probablemente más de una, fueron de uso múltiple en el tiempo de contacto con los españoles; sin embargo, aún no se sabe qué especie se utilizaba, cuáles se cultivaban o solamente se recolectaban [...] (Benz, 1994: 39).

Para muchos grupos indígenas y mestizos sigue teniendo una importancia crucial como fuente de alimento, bebida, medicina, cobijo (fibras ixtle), material de construcción, combustible, abono y obtención de implementos agrícolas, entre otros usos (García-Mendoza, Ordóñez-Díaz y Briones-Salas, 2004: 159).

El maguey, específicamente las especies *Agave americana* y *Agave inaequidens*, ha sido fundamental en diversas regiones de México, especialmente en Jalisco. Su aprovechamiento incluye la producción de artículos.

En Jalisco se han registrado usos de fibras de agaváceas que representan técnicas para la elaboración de artesanías (Vázquez-García, Vargas-Rodríguez y Cházaro B., 2007). Con la variedad de *Agave angustifolia* los artesanos de Zacoalco de Torres fabrican amarras que emplearán en la elaboración del asiento típico, el equipal.

En otros casos, en Tonalá se usan telas de ixtle como lienzos para pinturas; en Colotlán, los cinturones de cuero tejidos con ixtle o pita, conocidos como fajos piteados (*Gaceta UdeG*, 2012); el cabello de máscaras de madera de tastoán elaborado con fibras suaves de agave; o la fibra de agave utilizada

en la elaboración de chavindas o reatas para lazar, elaboradas en San Miguel Cuyutlán de Tlajomulco (Valenzuela Zapata, 2011).

Además, destacan artículos como ayates, bolsas, carpetas, ceñidores, cestas, moisés, cestos, cinchos para caballo; cobertores mortuorios, cojines para sillas, cordeles, hilos para sandalia, cubiertas para muebles; cuerdas para instrumentos musicales, estropajos, gruesas para carga, hamacas, huipiles, lazo para arcos, mecapales, morrales, palmos, petacas, petates, redes de pesca; sacos, sombreros, sudarios, tapetes, tapicería, tortilleros, entre otros.

Los saberes tradicionales

Las prácticas, técnicas y rituales asociados con el maguey son parte integral de la identidad cultural de muchas comunidades. La pérdida de estos conocimientos implica una desconexión con el pasado, y una disminución de la diversidad cultural no sólo afecta la economía local, sino también la conservación de saberes tradicionales. ¿Cuáles son estos saberes implicados?

Además de las prácticas extendidas y documentadas mencionadas en el apartado anterior, en comunidades menos conocidas los conocimientos en torno al ixtle se encuentran en franca retirada.

El saber del ixtle en Jalisco

En 1994, Julián López Ramírez, habitante de la localidad de Atacco, Tapalpa, habló sobre su oficio: la extracción del ixtle para elaborar costales que vendía en Colima (Pérez, 1994: 3).

La publicación refiere que hacia la segunda mitad del siglo xx los productos de material plástico comenzaron a ganar terreno en el mercado. Poco a poco el costal hecho de fibra de maguey se desplazó y formó parte de las colecciones de museos, además de los impuestos gravados al costal de ixtle.

Casi 20 años después, en 2011, el productor de pulque de la misma localidad, Crispín Hernández, ahondó sobre el proceso de extracción (Adrián Montiel González *et al.*, 2011: 77-79).

De acuerdo con Crispín Hernández, el ixtle se extraía del golpeo de la peca sobre una tabla para despegarla y conseguir el ixtle.

“Éste ha sido un pueblo pulquero y pueblo de ixtleros. Mi abuelo sacaba ixtle de estas pencas que achicaba con un palo y le metía a la tabla con fierro doblado” (Hernández, 2011).

Julián López refiere que, cuando la fibra se secaba, se convertía en una hebra fuerte. Las hebras se tendían en un par de maderos clavados en la tierra. Ahí comenzaba el proceso de hilado con malacates; posteriormente se usaba la urdidera para conformar el tejido y el uso del sosopaste, un palo de origen antiguo, para apretar los hilos.

El pulquero Crispín explica el destino de los costales.

Hacían costales, hacían sogas, todo eso hacían, sogas para atar, para carga, hacían sus costalitos para el maíz, todo eso hacían. Ahora ya no. Se vendían de a 10 ó 12 pesos para la carga. Luego de aquí llevaban los costales a Talpa de Allende en burros y allá los daban a 25-30 pesos (Hernández, 2011).

El pulquero Alejandro Valdovinos, de la Manzanilla de la Paz, detalló sobre el uso de la penca del *Agave Inaequidens*, del que extrae aguamiel para pulque, para hacer sogas, pencas que compraban los productores.

La penca del mezcal la usan para hacer sogas: haz de cuenta que el mezcal tiene una textura flexible. La penca la puedes cortar y doblar, de la que saldrán unos hilitos, el ixtle. Hay personas que a veces compran mezcal o se llevan las pencas para sacar el ixtle y hacer sogas que son muy resistentes y que muchos charros utilizan (Valdovinos, 2011).

Hacia la región de los Altos de Jalisco, el productor de pulque Raúl Castillo en San Antonio Buenavista, Lagos de Moreno, relató el aprovechamiento del ixtle para hacer lazo, reatas del *Agave Americana* con las pencas que quedan.

“Tallan las pencas, así como están, les quitan todo lo verde y queda el puro ixtle. Ya después se los hila, tiene su chiste: se va a la maquinita, le da vuelta y otro lo está jalando, están saliendo los cordones de hilo” (Castillo, 2011).

Más de una década después, Víctor Gutiérrez López, otro productor de pulque de la localidad de Unión de Guadalupe, municipio de Atoyac, aprendió el oficio de su compadre Juan Osorio. Además de enseñarle la técnica de extracción y fermentación, le enseñó remedios con el agave, con las plantas de la región, además del arte del ixtle.

Mi compadre hacía sogas en la misma mezcalera (lugar donde se extrae el pulque): ahí montaba su máquina cerca de los mezcales y agarraba las pencas, por ejemplo, para descarnar y después sacaba las madejas de los hilos. Las ponía a secar y luego iba con la gente de ganado a ofrecer productos: sogas de

máquina complementa, media máquina o sogá corriente para los señores que cargaban leña (Gutiérrez López, 2024).

Saberes de la Luna

La transmisión de conocimientos sobre el cultivo y aprovechamiento del maguey se ha realizado tradicionalmente a través de la oralidad y la observación de ciclos naturales como las fases lunares.

Por ejemplo, el “quebrado” del maguey, la interrupción de la inflorescencia para recoger el jugo, se hace cuando la Luna se encuentra en la fase creciente, para así obtener mejor aguamiel. Se trata de una práctica que refleja la conexión entre saberes ancestrales y el entorno natural.

Un pulquero de Concepción de Buenos Aires, Gilberto Mejía, orientaba la protección del pulque de acuerdo con la Luna. El proceso inicia con el cuarto creciente, cuando se asoma una delgada franja plateada, como lo hacían sus ancestros.

Se regían por la luna, aunque muchos no crean en la luna, pero eso es efectivo. Nosotros mismos estamos ejercidos por la luna, los árboles y sus frutos. La madera que los más viejos cortaron hace años se hizo con las reglas de la luna. Por ejemplo, la madera de los portales tiene muchos años y la madera sigue estando buena (Adrián Montiel González *et al.*, 2011: 55).

Víctor Gutiérrez también se orienta con las fases lunares para obtener mejores rendimientos de aguamiel.

Nosotros nos dirigimos al ciclo de la luna, a las fases lunares. Es decir, a los tres días de nacida la luna lo quebramos, y lo limpiamos en el primer cuarto. Con esto el mezcal entra en producción rápido, porque si lo hacemos en la luna llena, el aguamiel no se afloja pronto (Gutiérrez López, 2024).

Presiones y declive

De acuerdo con la Convención para la Salvaguardia del Patrimonio Cultural Inmaterial de la UNESCO, uno de los ámbitos del patrimonio son los conocimientos y usos relacionados con la naturaleza y el Universo. Estos conocimientos comprenden una serie de saberes y técnicas que influyen en los valores y creencias, y constituyen el fundamento de muchos usos sociales y tradiciones culturales.

Los conocimientos y usos tradicionales constituyen el núcleo central de la cultura e identidad de una comunidad. Las presiones ambientales y climáticas influyen también en la artesanía tradicional, y la deforestación y roturación de tierras disminuyen la abundancia de los principales recursos naturales.

En los últimos años, las comunidades de la Sierra del Tigre, donde vive Víctor Gutiérrez, sur del estado, enfrentan el proceso de la extensión de los terrenos agrícolas de aguacate y *berries* que destruyen la flora endémica como el *Agave Inaequidens*, entre otras plantas que suelen aprovechar, al atentar contra la disponibilidad de materiales tiene un efecto directo en las comunidades que dejan de aprovechar los recursos y decaen los procesos.

El cambio climático, la continua deforestación y la expansión de la desertificación ponen en peligro de extinción a muchas especies y ocasionan la decadencia de la artesanía tradicional y la herboristería, a medida que las materias primas y las especies vegetales van desapareciendo (UNESCO, 2003).

Hasta el siglo pasado, cuando había demanda de ixtle, las técnicas se transmitían de generación en generación. Sin embargo, las últimas generaciones cambiaron sus intereses laborales, además de que en el caso del maguey, los bosques donde la planta crece sin cultivo se transforman año con año por los trabajos de desmonte.

En el caso de las zonas serranas como la Sierra del Tigre, en los últimos 25 años el sur de Jalisco se ha caracterizado por el crecimiento exponencial de la agroindustria de aguacate. Los productores deforestan grandes porciones de bosques para acondicionar las parcelas para el cultivo, riego y caminos para trasladar el fruto (Montiel González, 2024).

Víctor Gutiérrez y su hijo Daniel, ingeniero forestal, coinciden en que el relevo generacional dificulta la transmisión de estos conocimientos.

En el caso de la Sierra del Tigre, los más jóvenes se emplean en las huertas de aguacate y *berries* con un salario regular. Con el desinterés en los oficios ancestrales como la milpa o la extracción de pulque, el interés disminuye en la elaboración de los productos como el ixtle.

En 2011, el productor de pulque de Lagos de Moreno, Raúl Castillo, explicaba que en una población tan pequeña como es San Antonio Buenavista, la práctica de la obtención del ixtle era escasa, y la generación que lo hacía

estaba por desaparecer, fenómeno que ocurre con la muerte de los mayores, sin heredar no sólo una serie de conocimientos, también una visión del mundo.

“Ya casi no se mira eso, pero toda esa penca que se queda de los magueyes se utiliza para hacer lazo, y otras cosas, todo depende de la gracia de la persona. Pero aquí toda esa gente ya casi se acabó” (Castillo, 2011).

Los conocimientos tradicionales vinculados a la naturaleza son esenciales para la identidad cultural. Ante la expansión agrícola y el cambio climático que dificultan la pervivencia de las prácticas, se suma el relevo generacional sin interés ni estímulo por lo económico ni cultural.

Salvaguarda y revitalización

De acuerdo con la Convención de la UNESCO, salvaguardar una visión del mundo o un sistema de creencias es aún más difícil que preservar un entorno natural, aunque ambos, los conocimientos y el entorno natural, en el caso de la cultura del maguey, están entrelazados.

La salvaguarda no se concentra con la preservación de los objetos de artesanía, sino que se inclina hacia el aliento de los artesanos para que sigan fabricando sus productos, transmitiendo sus conocimientos y técnicas a otras personas en sus comunidades. Se puede tratar de artículos como joyas, herramientas, objetos rituales, juguetes y también de enseres domésticos (UNESCO, 2003).

En el caso de las expresiones de la cultura del pulque, en Jalisco los gobiernos municipales, estatal o federal no contemplan medidas para la protección de estos conocimientos. Tampoco incentivos económicos o protección legal de los conocimientos tradicionales para la transmisión de los mismos.

Sin embargo, la educación, a través de instituciones públicas procuran el reconocimiento, el respeto y la valorización del patrimonio cultural inmaterial, existe un esfuerzo pedagógico de diálogos horizontales entre la comunidad y la academia, y programas educativos y de formación específicos en las comunidades y grupos interesados.

En la comunidad de El Rodeo, localizada en la Sierra del Tigre del municipio de Gómez Farías, los investigadores del Centro Universitario del Sur, Yolanda Lizeth Sevilla García y Alejandro Macías Macías, desarrollan, en colaboración con distintas familias campesinas, el proyecto “Transición agroecológica en la agricultura de pequeña escala en tres regiones agrícolas de México”.

“El proyecto está orientado al cuidado de las riquezas naturales locales, la mejora de las condiciones de salud de sus habitantes y la recuperación de los vínculos comunitarios erosionados por la cultura individualista y competitiva del capitalismo” (Macías-Macías y Sevilla-García, 2024).

La transición agroecológica tiene una visión de género e intergeneracional que, en el caso de la agricultura y la recolección del pulque, las mujeres tomaron la iniciativa, de acuerdo con Sevilla García.

“Las mujeres sostienen la dinámica de vida de este pueblo. Ellas también se han encargado de atender y de reenamorarse de la protección de semillas, la protección de los huertos y volver a las prácticas ancestrales de siembra como la conservación y producción de maguey pulquero” (Sevilla-García, 2024).

El modelo abarca desde la producción sustentable y saludable de alimentos, hasta la distribución de los mismos con base en mecanismos de economías alternativas. También busca rescatar los saberes locales y su puesta en práctica.

Hay esquemas de escuela de diálogo de saberes y desde la comunidad y la academia queremos proponer un diálogo de saberes intergeneracional, pues el año pasado en noviembre surge “Pitenzin. Escuela de saberes rurales para niñas y niños”, donde arropamos las pedagogías del bosque (Sevilla-García, 2024).

Se trata de un proyecto para la sensibilización y difusión de información de los más jóvenes, como lo especifica la Convención. “Pitenzin” es un espacio educativo informal creado para fomentar el diálogo de saberes intergeneracional con las niñas, conocer su opinión como integrantes de la comunidad informados y agentes de cambio.

Para encontrar diversas opiniones respecto a un tema o acción que se pretenda realizar, pues a pesar de su corta edad, las niñas suelen poseer valiosos saberes provenientes de sus familias y sus respectivos entornos, y mucha iniciativa para encontrar soluciones que están nubladas para los adultos (Macías-Macías y Sevilla-García, 2024).

El desafío de salvaguardar los conocimientos tradicionales y el entorno natural de la cultura del maguey en Jalisco es considerable: la carencia de medidas gubernamentales y protección legal, que están sujetas a calendarios políticos, se desvanecen con el proyecto educativo en El Rodeo, que busca desde la horizontalidad preservar y transmitir estos conocimientos.

Conclusión

El maguey no sólo forma parte del catálogo de la biodiversidad de nuestro país, sino también tiene significados culturales y prácticas cotidianas con referencias a una serie de conocimientos antiguos, la reinterpretación y reformulación de otros.

Dependientes de los productos industrializados, desconocemos, por lo menos en los núcleos urbanos, la obtención de materias primas sin reparar en la facilidad con la que disponemos de productos básicos como la comida, la ropa o el calzado. Todavía es más improbable que conozcamos los métodos tradicionales de producción.

En Jalisco, el ixtle, una fibra de agave, es un caso con el cual podemos rastrear cómo el conocimiento ancestral se ha transmitido a lo largo de las generaciones. Sin embargo, la modernización ha arrancado productos manufacturados y reemplazado por artículos de menor duración. A lo anterior se suma que la deforestación y el cambio climático amenazan las materias primas de quienes todavía dependen de insumos básicos tomados de la naturaleza. La preservación de estos saberes y técnicas no sólo es vital para la identidad cultural, sino también para la sostenibilidad y el respeto por la naturaleza.

Es vital reconocer y apoyar estos saberes para mantener viva una parte esencial de nuestro patrimonio cultural. No basta con documentar los procesos de obtención, proceso y confección de artículos, sino propiciar la transmisión de técnicas ancestrales y la protección del entorno natural. Esto garantiza que los saberes sigan vigentes y relevantes para las generaciones futuras. La educación y la colaboración comunitaria son pasos fundamentales para salvaguardar este patrimonio cultural inmaterial.

Lecturas recomendadas

Acosta, J. D. (2008). *Historia natural y moral de las Indias*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Benz, K. L. (1994). Las condiciones culturales y ambientales en la Reserva de la Biosfera Sierra de Manatlán en tiempo de la Conquista: Una perspectiva de los documentos etnohistóricos secundarios. *Estudios del Hombre, Serie Antropología*, 1, 15-45.

Castillo, R. (2011). *Entrevista sobre producción de pulque en Lagos de Moreno*. (A. M. González, entrevistador).

- Gaceta UdeG. (2012, 14 de mayo). *Gaceta UdeG*. Obtenido de: <https://www.gaceta.udg.mx/ecos-del-piteado/#:~:text=artesan%20transmitida%20de%20conquista%20en,los%2090%20del%20siglo%20pasado>
- García-Mendoza, Abisai J., Ordóñez Díaz, María de Jesús, y Briones-Salas, Miguel. (2004). *Biodiversidad de Oaxaca*. Ciudad de México: UNAM-Instituto de Biología.
- Gutiérrez López, V. (2024). *Entrevista sobre deforestación de agave en la Sierra del Tigre*. (A. M. González, entrevistador).
- Hernández, C. (2011). *Producción de pulque en Atacco, Tapalpa*. (A. M. González, entrevistador).
- Macías Macías, Alejandro, y Sevilla García, Yolanda Lizeth. (2024). Niñeces, transición agroecológica y salud en El Rodeo, sur de Jalisco. *Ichan Tecolotl*, 385. Obtenido de https://ichan.ciesas.edu.mx/nineces-transicion-agroecologica-y-salud-en-el-rodeo-sur-de-jalisco/?fbclid=iwy2xjawevvht-lehrua2flbqixmqabhy5yao1jz4mlxxfulwvskhldkltvn8g6zqfor8s2o_ug-cpxmslflkmalwq_aem_gei-zsph6mxswqt1oxtvoa&sfnsn=scwspwa
- Montiel González, A. (2024, 24 de mayo). *Gaceta UdeG*. Obtenido de <https://www.gaceta.udg.mx/el-oro-negro-asedia-cultura-del-pulque-en-sierra-del-tigre/>
- Montiel González, A., et al. (2011). *Pulque, pulqueros y bebedores en Jalisco. Una tradición viva*. Guadalajara: PACMYC. Obtenido de <https://ddsudg.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/05/pulque-pulqueros-y-bebedores-de-jalisco.pdf>
- Pérez, G. R. (1994, 12 de agosto). De la fibra del maguey. *El Diario de Colima*, p. 30.
- Rancaño, M. R. (2000). *Ignacio Torres Adalud y la industria pulquera*. Ciudad de México: Plaza y Valdés Editores/UNAM-Instituto de Investigaciones Sociales.
- Sahagún, F. B. (1999). *Historia general de las cosas de Nueva España*. Ciudad de México: Porrúa.
- Sevilla García, Y. L. (2024). *Entrevista sobre el proyecto de transición agroecológica*. (A. M. González, entrevistador).
- UNESCO, C. p. (2003). *Conocimientos y usos relacionados con la naturaleza y el Universo*. Recuperado el 3 de 07 de 2024, de <https://ich.unesco.org/es/conocimientos-relacionados-con-la-naturaleza-00056>
- Valdovinos, A. (2011). *Entrevista sobre producción de pulque en La Manzanilla de la Paz*. (A. M. González, entrevistador).

- Valenzuela Zapata, Ana, I. L.-M. (2011, 16 de noviembre). *JStor*. Obtenido de JStor: <https://www.jstor.org/stable/26419938>
- Vázquez-García, J. Antonio, Vargas-Rodríguez, Yalma L., y Cházaro B., Miguel de J. (2007). Fibras y artesanías con agave. En H. L. Gregorio Nueves H., *Agaves del occidente de México*. (Vol. Serie Fronteras de Biodiversidad, pp. 119-122). Guadalajara: UdeG-CIATEJ-Consejo Regulador del Tequila/Luisiana State University-Conafor.

¿Más que una bebida? El pulque en Jalisco, hechos detrás de la tradición

FACUNDO MONTIEL GONZÁLEZ*

ABRAHAM IGNACIO MONTIEL GONZÁLEZ**

Resumen

En nuestro país, para algunas personas el pulque puede ser un “secreto a voces”, mientras que para otras puede ser una bebida de lo más habitual e incluso un fenómeno social, una bebida que se tiene que incluir en las más grandes celebraciones. Muchas cosas se dicen de este brebaje, su sabor y olor suelen causar polémicas y en torno a él giran algunos mitos urbanos o dichos populares; asimismo, mucho se habla también de su uso como remedio medicinal, como alimento o simplemente como una bebida que, además de tener un efecto embriagante muy particular, su consumo sostenido mejora notablemente la salud. Pero ¿qué evidencias hay de todo esto? Ciertamente, el pulque ha sido un objeto de estudio cada vez más habitual para investigadores de distintas ramas de la ciencia, así como también el maguey, la planta de donde se extrae el aguamiel, la base de este elíxir. A pesar de que algunas de estas investigaciones se han vulgarizado, no siempre han respondido las respuestas de los consumidores, e incluso siguen sin convencer a aquellos escépticos que dudan en probarlo, o simplemente estos conocimientos no

* Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología, Gobierno del Estado de Jalisco.

** Universidad de Guadalajara.

han llegado a generar el impacto deseado en los curiosos. Con este artículo, más allá de responder las preguntas acerca del pulque, se busca ofrecer un contexto general de la bebida y acercar algunas de las evidencias científicas más relevantes para los bebedores, para así el lector pueda generar nuevas preguntas y descubrirlas a través de la ciencia, de la experiencia al degustar un delicioso pulque o, bien, de ambas.

¿De dónde viene el pulque?

El pulque es una bebida fermentada, así como una gran variedad de bebidas ampliamente consumidas en México, tales como el tepache, la tuba, el tejuino, el pozol, y la cerveza. Algunas de ellas de origen prehispánico, otras adaptadas a la cultura mexicana a través de plantas o especies que fueron introducidas y domesticadas en el país, algunas las puedes encontrar específicamente en ciertas regiones y otras están prácticamente a disposición de quien las quiera consumir. Quizá el pulque no cumpla todas las anteriores características, aunque en nuestro estado, Jalisco, la mayoría nos podamos hacernos muchas preguntas sobre ésta. Y a pesar de que el pulque está lejos de ser la bebida más consumida y distintiva en la región, ¿qué tiene de especial esta bebida entonces y por qué es una bebida tan arraigada en el país?

Primeramente, el pulque no es un fermento de un cereal, como el tejuino y la cerveza, los cuales están fabricados de maíz y cebada, respectivamente, dos de los cereales más consumidos a nivel mundial. Asimismo, a pesar de que lleva siglos fabricándose, los procesos industriales de producción están lejos de llegar a una industrialización como la de la cerveza, e incluso aunque existan versiones industrializadas, ninguna ha llegado a estar ampliamente extendida. Si hacemos una comparación con otra bebida tradicional en el país, podemos decir que es algo más parecido a la tuba —la cual se realiza a partir de la recolección de la savia de la palma, justo antes de que las flores del racimo de los cocos abran, y es muy consumida en las zonas costeras del estado, entre otras regiones tropicales—, el pulque se recolecta de la savia del maguey, del mero centro de la planta, el cual es conocido por los pulqueros o tlachiqueros como el corazón o el ameyal. No todas las especies de maguey pueden ser usadas para extraer esta savia, llamada “aguamiel”. Las principales especies usadas para este fin son *Agave americana*, *A. atrovirens*, *A. ferox*, *A. mapisaga*, y *A. salmiana*, *A. maximiliana*, *A. inaequidens*. Éstas también suelen ser de las especies que

mayor tamaño de planta pueden alcanzar, superando la altura de una persona y llegando a medir más de dos metros, que es cuando la planta llega a su punto de madurez. Para llegar a este punto hay que esperar un promedio de seis a ocho años (incluso hasta 10), y es entonces cuando la planta comienza a formar el quiotte o a dar flor. Si no se inicia el proceso de extracción del aguamiel, esto haciendo el corte y raspado del maguey y que suele ser llamado por los tlachiqueros (o personas que llevan el oficio de la fabricación del pulque) como “quebrar el maguey”, comenzará a emerger el quiotte y a través de las flores de éste, diversos insectos y hasta murciélagos realizarán la función polinizadora.

El “quebrado” del maguey consiste en cortar las suficientes pencas de éste para que el tlachiquero tenga el espacio suficiente para llegar al corazón de la planta y comience a hacer el raspado (por lo general usando una cuchara metálica). Es a través de este raspado que la planta poco a poco irá produciendo la savia o aguamiel. Este líquido dulce se recolecta habitualmente dos veces al día, una vez por la mañana, a primera hora, y otra por la tarde, tomando previsiones suficientes para realizar la recolección antes de que caiga el Sol, y la cantidad de líquido disponible en cada recolección puede variar desde unos cuantos mililitros, al inicio del quebrado de la planta, hasta llegar de dos a cuatro litros en su punto máximo y conforme al tamaño, tipo de suelo y estado de la planta, llegando al punto donde la planta deja de producir y muere. Este dulce néctar es por lo general transparente, con una ligera turbidez y en algunos casos con un leve color amarillento. Ahora, si quisiéramos dar una definición breve sobre lo que es el pulque, diríamos que es la bebida resultante de la fermentación de este aguamiel.

La fermentación del aguamiel es un proceso biológico esperado. Ya que la savia tiene todas las condiciones suficientes: al realizar el capado de maguey, la microbiota que está presente en las pencas se traslada a las herramientas con las que se trabajan. El proceso para que el maguey esté listo para ser raspado es que algunos productores colocan hierbas en el agujero, y todos los insectos que son atraídos por los aromas y sabores del aguamiel son los precursores para que inicie la fermentación, siendo completamente un proceso natural y que en cuanto a sus características organolépticas como el sabor, el olor y la textura, si bien son muy similares en todo el país, pueden tener variaciones muy evidentes y que entre otras razones que más adelante describiremos, estas variaciones pueden deberse a la biota de la región de producción.

Algunas cosas aprendidas de los pulqueros en Jalisco

Durante una investigación realizada entre 2009 y 2011, llevada a cabo en distintas localidades de Jalisco (Montiel-González *et al.*, 2011), nos dimos cuenta que en cada lugar cuentan con una tradición del pulque distinta, que pueden ser similares a las de otros lugares en el país, pero al menos, tomando de referencia estas experiencias al interior de nuestro estado, las prácticas pueden tornarse muy aisladas las unas de las otras. Por poner un ejemplo, si se visita a los pulqueros de la región de la Sierra del Tigre, se puede percibir que éstos conservan una tradición añeja, donde si bien, debido a movimientos migratorios también han recopilado experiencias del centro del país, los pulqueros de esta región tienen variantes únicas en su método, “la receta” es distintiva de la región y cada familia o productor le pone su sazón. Podemos decir que si un día llegaran a vaciarse todos sus depósitos de pulque, podrían recrear la base de esta bebida o lo que llaman el “pie de pulque”, resultando en una bebida de un sabor prácticamente idéntico. Sobre estas recetas que son utilizadas para crear la base sobre la cual se fermentarán litros y litros de aguamiel, suele ser usual agregar especias dentro de una tela limpia, también denominada “muñeca”, e incluso refieren el uso de bebidas “curadas”, maceradas o añejadas tales como ron, brandy u otras bebidas con olores amaderados y de gran agrado para los consumidores de los destilados de caña o uva. Esta práctica no pasa así en otras regiones del estado, como la visitada en la comunidad de San Antonio Buenavista, en Lagos de Moreno, donde los pobladores conocen el oficio tlachiquero en cuanto al raspado y extracción de la bebida, pero no cuentan con una base de fabricación del pie de pulque. Los pulqueros de esta zona refieren que si se vacían sus depósitos de pulque, acuden con algún vecino a pedir un “pie de pulque” y sobre éste seguir vaciando aguamiel y dejar fermentar hasta convertirse en la tradicional bebida alcohólica. Ambas prácticas son muy interesantes y nos dejan imaginando la variedad del proceso y fermentación que existe de una región a otra.

Esta última idea nos lleva también a preguntarnos si entonces el pulque, al ser una bebida tradicional donde no se tiene una estandarización de la producción, preguntarnos antes que si es una bebida saludable, es primero una bebida salubre. Los aromas que emanan de esta bebida no pueden esconderse, los cuales van desde aromas dulces y característicos de cualesquiera fermentos,

hasta tener olores fétidos, los cuales hacen menos apetecible la bebida. Tanto en los testimonios de los colegas de la Sierra del Tigre, como de San Antonio Buenavista, entre otros, nos explican un poco de este fenómeno, donde refieren que el pulque debe de realizarse con extrema higiene, cambiando los recipientes donde se almacena dicha bebida, cada tantos días, así como siempre cuidar que el proceso de fermentación no llegue al punto de avinagrarse, para así conservar el olor característico de la bebida sin llegar a lo desagradable. Este hecho ha llevado a uno de los mitos más recurrentes entre los bebedores, cuando el pulque es almacenado en condiciones de mala higiene o debido a algún mal manejo o contaminación de los recipientes, y es cuando los consumidores llegan a referir que esta bebida huele a heces fecales, de origen que es mejor no imaginar. Un factor que suele ser un argumento en contra de la falta de higiene de esta bebida, lo da el uso de la ya mencionada “muñeca”; la cual, en el imaginario de algunos bebedores suelen confundir a este trapo, que por lo general contiene hierbas y especias propias de cada región de producción, y que ya ha pasado varios días dentro del barril o recipiente que almacena la bebida, un aspecto de excremento de vaca o caballo, algunos refieren que incluso puede parecerse al humano. Este mito muchas veces llega a ser impulsado quizá por los bebedores más copiosos de la bebida, que pueden llegar a referir que es “el toque” especial de cada productor, pero eso sí, totalmente negado por los productores, quienes en todo momento recalcan que para un buen pulque, la limpieza es esencial para llevar al consumidor una bebida de calidad.

A pesar de todo lo negativo que se puede decir del pulque, de los mitos que rondan a su falta de higiene, su sabor particular, el olor e incluso la extrema viscosidad que puede llegar a alcanzar, son factores por los que muchas personas se niegan a beberla, prefiriendo destilados añejados en barricas de maderas finas, bebidas preparadas, gasificadas e incluso muchas veces altamente industrializadas; el pulque es una bebida que, a pesar de haber sido relegada de ser la bebida mexicana por excelencia, se ha resistido a desaparecer, ¿por qué?

Los milagros del pulque y la interpretación de los mismos

Así como alrededor del pulque y su cultura rondan mitos que llegan a desalentar a muchos potenciales bebedores de probarla, también existen fuertes dichos o afirmaciones populares que dotan al pulque de distintas cualidades y propiedades maravillosas.

“La bebida de los dioses” —llamada así debido a que está documentado que su consumo en la época prehispánica estaba limitado para las clases altas y los eventos religiosos de la época (referencia códice)—, aún está asociada con grandes celebraciones, curas de muchos males, alimento de alto índice nutricional, y en general como un “milagro” salido de una planta que se encuentra prácticamente en todas las regiones del país.

Muchos de estos “milagros” del pulque han dejado de ser un misterio. Aunque no del todo difundidas, al día de hoy existen distintas investigaciones que abordan las propiedades y compuestos del pulque. Más relevante que abordar algunas preguntas sobre el pulque, existen líneas completas de investigación cuyo tema central es el estudio de los fermentos, las bebidas tradicionales mexicanas como el pulque, y en especial de los derivados del maguey y el maíz, así como su importancia en la dieta de los mexicanos, en general sus propiedades nutraceuticas, y la posible relación de estas bebidas con otros fermentos tradicionales de otras partes del mundo.

Como un ejemplo de estas investigaciones, la de Ortiz-Basurto *et al.* (2008) es una gran aportación sobre la cuantificación de los componentes del aguamiel. En este estudio reportan que este líquido está compuesto en alrededor de 75% en peso de azúcares, tales como la fructosa (32.4%), la glucosa (26.5%), sacarosa (8.8%). Se cuantifica también en su composición un 10% en peso de fructooligosacáridos, los cuales poseen beneficios prebióticos, es decir, que favorecen el crecimiento o la actividad de bacterias beneficiosas en el intestino y, por tanto, estas sustancias en el aguamiel pueden desempeñar un papel crucial en la digestión, la absorción de nutrientes, y la salud general del sistema inmunológico.

En este estudio también se hace mención y cuantificación de otros compuestos en el aguamiel, tales como: proteínas, donde se reporta que tienen una presencia de 3% en peso, y además contiene minerales como el calcio, hierro, zinc, magnesio y fósforo (3% en peso del conjunto de estos elementos). Claro que la cantidad de, sobre todo, los minerales contenidos en este líquido puede tener fuertes variaciones conforme a los nutrientes que tiene el suelo y es necesario complementar estos datos con estudios agronómicos y de las variables del suelo de cada región de cultivo. Sin embargo, el aporte de estos minerales en mayor o menor medida nos ayuda a: conservar huesos y dientes fuertes, procesos como contracción muscular, secreción endocrina y liberación de neurotransmisores

(caso del calcio); el hierro es un componente importante de la hemoglobina, la cual se encarga de llevar oxígeno a todo nuestro cuerpo; el zinc ayuda a regular nuestra respuesta inmune; así como también el magnesio, que además ayuda a regular la presión sanguínea y los niveles de azúcar en sangre; y finalmente el fósforo, que nos ayuda en la reparación y conservación de células y tejidos, además de ser parte del proceso bioquímico en el cual las células producen la energía que necesitamos. Finalmente, en este estudio se reporta un contenido importante de ácido ascórbico (mejor conocido como vitamina C). Donde por cada litro de la bebida, se cuantifican cantidades de alrededor de 120 mg, lo cual es superior al consumo diario recomendado, el cual es de 90 mg para hombres y 75 mg para mujeres según el NIH o el Instituto Nacional de Salud de Estados Unidos.

En cuanto al pulque, en el estudio de Backstrand *et al.* (2007) se reporta que una ración de 500 mL puede aportar de media: 215 kcal, 30 mg de ácido ascórbico, 3.5 mg de hierro, 0.1 mg de tiamina, 0.1 mg de riboflavina, estas dos últimas moléculas, conocidas también como vitaminas B1 y B2, respectivamente. Aunque estas cantidades pueden ser contrastantes entre distintos estudios, lo cual puede ser debido a que su nivel de fermentación varía mucho de las múltiples variables que se mencionaron párrafos atrás, es indiscutible el valor nutracéutico que tiene esta bebida y sus potenciales beneficios para la preservación de la salud. En cuanto al grado de alcohol que puede llegar a contener de manera natural, el cual también está íntimamente ligado al estado de fermentación, éste puede encontrarse entre el 3 a 6%, muy similar al de las cervezas comerciales.

Si bien las bebidas alcohólicas socialmente suelen ser vistas sólo para consumo de adultos, el pulque es tradicionalmente una bebida considerada como familiar y que es bebida tanto por jóvenes, adultos, así como también por adultos mayores e incluso niños. Por supuesto que en cada uno de estos segmentos de población se suele utilizar el pulque no como bebida de esparcimiento, sino que, por ejemplo en niños y adultos mayores es comúnmente usado en forma de remedio o complemento en la dieta. Existen distintos elementos de la cultura mexicana que ejemplifican este uso, muchas veces orillado debido a las fuertes condiciones de inseguridad alimentaria que se viven en distintas regiones del país, como lo narra Manuel Payno, quien menciona que en los lugares donde vivían los indígenas se les daba pulque que los conservaba sanos

en las condiciones de trabajo más difíciles y llegaban a una edad avanzada, con una alimentación muy sencilla.

“[...] unas cuantas tortillas y un poco de chile dos veces al día: y si no fuera por el pulque, ¿qué otra cosa podría fortalecerlos y conservarlos?”

O en lugares con escasez de agua o problemas de sequía, como se puede observar en la película *Río escondido* (1948), dirigida por Emilio “el Indio” Fernández, donde la maestra Rosaura (interpretada por la célebre actriz María Félix) quien se encontraba platicando con el “señor cura” (Domingo Soler), recoge al niño Poncianito del piso, levantándolo y suponiendo que está enfermo, acto seguido el señor cura le explica que está borracho, ya que a falta de agua, el único líquido disponible para hidratarse es el pulque (aprox. en 1:22:00 del filme).

Además del aguamiel y el pulque, se han estudiado algunas preparaciones de maguey, sobre todo de las pencas, ya que como reportan Santos-Zea *et al.* (2012), el género de *Agave* spp. y los productos derivados de él también son una fuente importante de saponinas, que, aunque se consideran como compuestos que pueden reducir la absorción y utilización de ciertos nutrientes, también tienen propiedades anticancerígenas, antifúngicas y antiinflamatorias en los seres humanos.

Existen estudios ampliados y más profundos sobre los distintos aspectos mencionados del aguamiel, el pulque y el maguey, pero ¿qué nos dice la tradición sobre los usos del pulque? ¿Cuáles son los remedios más populares? ¿Es mejor el pulque preparado que el pulque natural? ¿Estos remedios tienen sentido respecto a la evidencia científica encontrada?

Tanto el aguamiel como el pulque son utilizados tradicionalmente para tratar problemas de salud como los siguientes: falta de apetito, anemia, diabetes, problemas gastrointestinales, entre otros. Contrastemos entonces dicha información con algunos resultados científicos.

Para el caso del apetito, no es precisamente un caso particular del pulque. En el artículo de Cains *et al.* (2017), reportan que el alcohol activa células cerebrales conocidas como neuronas AgRP, que tienen respuesta cuando el organismo requiere un aporte energético, causando por tanto la sensación de hambre. Sin embargo, el pulque, que como mencionamos anteriormente, acostumbra darse en pequeñas cantidades en niños, sobre todo el pulque “tierno” o de bajo

contenido alcohólico, puede ser un buen remedio para que los niños y quien lo consuma, abra su apetito.

Para el tratamiento de la anemia, el pulquero Francisco Mejía, de Concepción de Buenos Aires, refiere que su clientela acude a comprar aguamiel con el fin de dar a beber a los niños con síntomas o principios de anemia, la cual usan como un tratamiento por 40 días. Además, es común encontrarse en las pulquerías a personas que refieren tener diabetes, contando sus testimonios de cómo el pulque los ha ayudado a sentirse mejor. El aguamiel y el pulque, al contener hierro, componente importante en la molécula de la hemoglobina, y cuya deficiencia de este mineral provoca la anemia ferropénica, la cual es la forma más común de esta condición. El magnesio contenido en el pulque y aguamiel, por su parte, puede ayudar a regular los niveles de azúcar en sangre, lo cual es el parámetro que los enfermos de diabetes deben de controlar, además de regular la presión sanguínea, lo cual puede también tener efectos vasodilatadores, que bien se puede correlacionar con algunos efectos benéficos para cuando se está realizando o terminando de realizar alguna actividad física extenuante, incluso con los efectos afrodisiacos que también se le atribuyen a esta bebida.

En cuanto a los problemas gastrointestinales, algunos consumidores quizá refieran experiencias tormentosas al momento de evacuar, si bien en la mayoría de las veces es debido al consumo de un pulque fresco, quizá sea aventurado dar alguna hipótesis sobre el balance en la biota intestinal. Más, para los bebedores existe una opinión casi generalizada de que el consumo regular de pulque también ayuda al buen funcionamiento del sistema digestivo. Como se mencionó anteriormente, el pulque es rico en fructooligosacáridos, los cuales conllevan beneficios prebióticos, además de las características levaduras y microorganismos que actúan como probióticos. En la actualidad hay una corriente científica que estudia los psicobióticos, los cuales son una clase de probióticos que, cuando se ingieren en cantidades adecuadas, pueden producir beneficios para la salud mental, además de los beneficios digestivos tradicionales. Estos beneficios incluyen la reducción de síntomas de ansiedad, depresión, y otras afecciones relacionadas con el estado de ánimo y la salud mental. Si bien es un área de investigación reciente, esta combinación de probióticos y del neurotransmisor GABA (o ácido gamma aminobutírico) también mencionado en el

estudio de Ortiz-Basurto *et al.* (2008), podrían hacernos pensar que el pulque puede tener potenciales efectos psicobióticos y que si no nos causa la feliz borrachera que nos puede provocar, quizá de todos modos lo cause esta singular combinación bioquímica.

Cómo se consume el pulque en Jalisco

Aunque existen diversas tradiciones y recetas de cómo beber el pulque en el país, entre las más populares por ejemplo son los espesos curados que comercializan las pulquerías del centro del país, en Jalisco podemos encontrar variedades muy distintas.

Si visitamos Ixtlahuacán de los Membrillos, justo debajo del puente peatonal más cercano a la entrada principal, encontraremos que lo venden natural pero ofreciendo una mezcla de cebolla-chile-jícama-y/o mango picado (si la temporada lo permite), además de agregarle una salsa picante, la cual es realizada especialmente para acompañar el pulque. Al visitar el municipio de Concepción de Buenos Aires, nuestro ya referido amigo Francisco Mejía suele tomar de vez en cuando lo que él llama “un pajarete”, ya que es una variación de la receta tradicional con leche, pero esta vez con aguamiel. Visitando algunas pulquerías de la ciudad, se podrán encontrar bebedores que acompañan al pulque con unas tortillas, una salsa macha, y no sólo taqueando acompañados de un pico de gallo, sino también agregando estos ingredientes a su bebida. En otras pulquerías de la zona metropolitana de Guadalajara se pueden encontrar “curados” con un estilo muy particular, preparados al momento y con sabores de las distintas frutas de temporada, como también otros particulares como de mazapán o pitaya de Techaluta de Montenegro, o bien de Amacueca. En el mercado municipal de Zapopan lo encontraremos con la posibilidad de mezclarlo con un preparado especial de apio. En Zapotlán el Grande lo podremos degustar en la preparación de un “cocido” de res denominado “bote”. También hay personas que prefieren consumirlo con refresco de fresa, de grosella, con jugos, o incluso en combinación de otros licores. Como bien dice el dicho: “en gustos se rompen géneros”. Esta riqueza cultural sobre esta particular bebida abre todo un universo de variables para investigar cuál combinación es la mejor para ciertos usos terapéuticos, cuál es la que mejor cae al paladar, o bien cuál es la mejor para emborracharse.

Conclusiones

Si bien con este artículo no esperamos convencer a los lectores de que el pulque es la mejor y más tradicional bebida artesanal mexicana, sí esperamos motivar a que aquellos escépticos la prueben, a que aquellos que la primera vez que la probaron y no les gustó, le den una segunda oportunidad con la preparación que se antoje, elija o convenza, y en general, disfruten de la variedad de bebidas y preparados que tenemos en México y en especial en Jalisco. Que si no consumen pulque por gusto, pueda ser por querer aprovechar alguna de sus múltiples propiedades, por continuar la tradición o por enriquecer la propia. Y que aunque no sea consumiendo aguamiel y pulque, ya sea que prefieran una raicilla de Mascota, un buen tequila de Arandas, Amatitán o Tequila, un ponche de granada de Tepec o de Zapotlán el Grande, o un delicioso tejuino de su puesto de tianguis preferido, este texto despierte su curiosidad, descubran la ciencia que hay detrás de cada bebida, conozcan los curiosos detalles detrás de ésta, transmitan y fortalezcan la riqueza cultural con la que contamos a través de unos cuantos tragos.

Lecturas recomendadas

- Backstrand, J. R., Allen, L. H., Martínez, E., y Pelto, G. H. (2007). Maternal consumption of pulque, a traditional central Mexican alcoholic beverage: Relationships to infant growth and development. *Public Health Nutr.*, 4(04), 883-891.
- Cains, S., Blomeley, C., Kollo, M., Rácz, R., & Burdakov, D. (2017). Agrp neuron activity is required for alcohol-induced overeating. *Nature Communications*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/ncomms14014>
- Montiel González, A. A., Montiel González, A. A., Montiel González, F., Cabrera Flores, E., & Hernández Acosta, B. B. (2011). *Pulque, pulqueros y bebedores en Jalisco*. PACMYC Jalisco.
- Ortiz-Basurto, R. I., Pourcelly, G., Doco, T., Williams, P., Dornier, M., y Belleville, M.-P. (2008). Analysis of the main components of the aguamiel produced by the maguey-pulquero (*Agave mapisaga*) throughout the harvest period. *J. Agric. Food Chem.*, 56(10), 3682-3687.
- Santos-Zea, L., Leal-Díaz, A. M., Cortes-Ceballos, E., & Alejandra, J. (2012). Agave (*Agave* spp.) and its traditional products as a source of bioactive compounds. *Current Bioactive Compounds*, 8(2), 95-107. <https://doi.org/10.2174/157340712802762410>

Infección de vías urinarias.

¿Es tan frecuente cómo se piensa?

ERIK DE JESÚS OROPEZA RUEZGA*
SERGIO SÁNCHEZ ENRÍQUEZ*

Resumen

Aunque es claro que sabemos que las infecciones de vías urinarias o del tracto urinario son consideradas por diferentes fuentes una de las principales afecciones que ataca a la población mundial, catalogándose incluso entre la primera y segunda causa de morbilidad, así como una de las mayores causas de búsqueda de atención médica en nuestros servicios de salud, es evidente que desde la llegada de la microscopía, de las tiras reactivas así como de nuevas tecnologías, su diagnóstico en ocasiones de forma inequívoca ha ido incrementando de manera importante. Por ello el siguiente escrito tiene la intención de formar en el lector un abordaje general de dicho padecimiento, así como valorar su impacto en la salud pública tanto nacional como internacionalmente, afectando tanto a nuestros servicios de salud como a nuestra salud y calidad de vida; de la misma forma tiene la finalidad de invitar al clínico a seguirse preparando, a nunca conformarse o aferrarse a ciertos diagnósticos y a seguir dando lo mejor por sus pacientes y por la medicina que tanto nos ha aportado.

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos.

Introducción

La Infección de vías urinarias y/o infección del tracto urinario (IVU/ITU) se define como el crecimiento de microorganismos en el tracto urinario en combinación con síntomas clínicos o una respuesta inflamatoria al microorganismo, o ambos (Elsevier, 2023). Brito-Rojas *et al.* (2021) la definen como “la presencia de microorganismos dañinos en la orina debido a la infección de la uretra, vejiga, riñón o próstata” (p. 4). A su vez es importante definir la bacteriuria asintomática, la cual es definida como la presencia de microorganismos en el tracto urinario sin que se presenten síntomas ni signos de respuesta inflamatoria en las vías urinarias, por lo que no se considera una infección del tracto urinario y no requiere tratamiento, excepto en pacientes embarazadas o sometidas a procedimientos urológicos endoscópicos (Elsevier, 2023; Secretaría de Salud, 2021). Las infecciones de vías urinarias pueden clasificarse como infección del tracto urinario inferior (cistitis, uretritis y prostatitis) o infección del tracto urinario superior (pielonefritis y abscesos intrarrenales), y no complicada o complicada (aquellas que ocurren en pacientes con factores que aumentan el riesgo de un curso complicado) (Elsevier, 2023; Brito-Rojas *et al.*, 2021). Se trata de la segunda causa de infecciones bacterianas comunitarias, tras las infecciones respiratorias. Las IVU aparecen principalmente en la mujer. La incidencia de las IVU aumenta con la edad (Baldeyrou *et al.*, 2018). Datos de Ahumada-Cota *et al.* (2022): “Anualmente se reportan más de 150 millones de personas afectadas por infecciones del tracto urinario (ITU) en el mundo. En México, el padecimiento ocupa el tercer lugar entre las enfermedades infecciosas, sólo superado por las infecciones respiratorias agudas y las gastrointestinales” (p. 728). La información del *Anuario de morbilidad del Boletín Epidemiológico de México* durante el periodo 2007-2019 reporta un promedio de 3’809,727 casos de ITU (Ahumada-Cota *et al.*, 2022). En nuestro país vecino, Estados Unidos, las ITU representan ocho millones de visitas de atención médica por año y el 15% de todas las recetas para pacientes ambulatorios (Ford *et al.*, 2024).

Este padecimiento se trata de manera rutinaria con antibióticos; sin embargo, el empleo indiscriminado de estos productos ha ocasionado una selección de bacterias resistentes. Esto genera mala respuesta al tratamiento, una pobre resolución de las ITU que favorece la cronicidad del padecimiento y conduce a complicaciones graves como fallo renal. La Organización Mundial de la Salud ha emitido una alerta sobre el impacto de la resistencia a antibióticos a nivel

mundial, ya que consideran que en poco tiempo se convertirá en una pandemia difícil de controlar. Este organismo definió aquellas bacterias que representan mayor riesgo, entre las que se encuentra *Escherichia coli*. La etiología de las ITU se relaciona con una gama de microorganismos, incluidos virus, bacterias, hongos y algunos parásitos. De todos éstos, *Escherichia coli* es el responsable del 75% de los cuadros en la comunidad y de 60% de los casos intrahospitalarios (Ahumada-Cota *et al.*, 2022). De ahí surge el deseo de hacer este escrito para informar tanto al lector como al clínico una forma de identificar dicho padecimiento y saber diferenciarlo de otros y así no cometer errores que puedan repercutir en nuestra calidad de vida.

¿Cuáles son los principales grupos afectados?

Una vez habiendo definido el concepto, así como de generalidades, convendría tomar en cuenta quiénes son los grupos de población más afectados. Encontramos que en diferentes fuentes dichas infecciones llegan a ser catalogadas entre la primera y la segunda causa de infecciones bacterianas en la comunidad; hablando de ello, es algo más común en niños que en niñas recién nacidos, más adelante en la niñez, las ITU son más comunes en las niñas, al igual que la bacteriuria asintomática. Más de la mitad de todas las mujeres sanas experimentan al menos una ITU sintomática en su vida, y cada año entre el 2 y el 10% de las mujeres experimentan al menos un episodio. La ITU es poco común en hombres, pero aumenta después de los 65 años. La ITU también es una de las infecciones hospitalarias más comunes, alrededor del 80% de éstas son consecuencia del uso de una sonda vesical permanente. Sin embargo, muchas de estas infecciones urinarias “asociadas al catéter” son en realidad bacteriuria asintomática detectada mediante urocultivos innecesarios (Dekronja, 2024).

¿Qué factores me condicionan a sufrirlas?

Aunque existen varias asociaciones entre ciertas condiciones y las infecciones del tracto urinario, dentro de los principales factores de riesgo encontramos los siguientes:

- Hombres no circuncidados.
- Sexo femenino, resultado de que la uretra femenina es más corta y debido a la relativa proximidad del orificio uretral al ano.

- Factores genéticos, debido a que la adherencia de las bacterias puede estar determinada, en parte, genéticamente.
- Obstrucción urinaria, en los niños con malformaciones y/o anomalías urológicas tales como válvulas uretrales posteriores y obstrucción de la unión ureteropélvica. Mientras tanto, en los adultos predominantemente en los varones mayores de 65 años con hipertrofia prostática y prostatitis.
- Disfunción de la vejiga y los intestinos caracterizada por un patrón de eliminación anormal (micciones frecuentes o poco frecuentes, enuresis diurna, urgencia, deposiciones poco frecuentes [estreñimiento]), incontinencia vesical y/o intestinal y maniobras de retención.
- Reflujo vesicoureteral, definido como el paso retrógrado de la orina desde la vejiga al tracto urinario superior.
- Actividad sexual.
- Cateterismo vesical.
- Asiáticos, seguido de raza blanca e hispanos, y por último afroamericanos (Shaikh *et al.*, 2022).

¿Qué las causa?

La mayoría de los patógenos urinarios forman parte de la colonización intestinal normal y cuentan con factores de virulencia que le permiten colonizar el periné en la mujer y el prepucio en el hombre, para luego ascender a la vejiga y al riñón. Hasta el 95% de las rvu son causadas por enteropatógenos; de éstos, el principal implicado es la *Escherichia coli* (90% en sexo femenino y 80% en varones); otros microorganismos implicados pueden incluir: *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter* spp., *Enterococcus* spp. y *Pseudomonas* spp (Secretaría de Salud, 2021). Los virus (p. ej., adenovirus, enterovirus, coxsackievirus, echovirus) y hongos (p. ej., *Candida* spp, *Aspergillus* spp, *Cryptococcus neoformans*, micosis endémicas) son causas poco frecuentes de ITU (Shaikh *et al.*, 2022).

¿Cómo se causan?

La colonización del área periuretral por patógenos entéricos uropatógenos es el primer paso en el desarrollo de una ITU. Sin embargo, la presencia de patógenos en la mucosa periuretral no es suficiente para causar ITU. Los patógenos se adhieren a las células uroepiteliales mediante un proceso activo mediado por receptores de glicosfingolípidos en la superficie de las células

epiteliales. La unión bacteriana recluta receptores tipo peaje (TLR), una familia de correceptores transmembrana implicados en el reconocimiento de patrones proteicos asociados a patógenos. La unión de TLR desencadena una respuesta de citocinas, que genera una respuesta inflamatoria local. Una variedad de factores de virulencia permite que las bacterias asciendan a la vejiga y al riñón. Los factores de virulencia mejor estudiados en *E. coli* son los pili, apéndices parecidos a pelos en la superficie celular. Las bacterias que poseen pili pueden adherirse eficazmente al uroepitelio y ascender al riñón. En el riñón, el inóculo bacteriano genera una intensa respuesta inflamatoria, que en última instancia puede provocar cicatrización renal (Shaikh *et al.*, 2022).

En pocas palabras, los microorganismos pueden llegar al tracto urinario por diseminación hematógena o linfática, aunque existen abundantes datos clínicos y experimentales que demuestran que el ascenso de microorganismos desde la uretra es la vía más frecuente producida por las ITU, especialmente por microorganismos de origen intestinal (es decir, *Escherichia coli* y otras enterobacterias) (Brito-Rojas *et al.*, 2021).

¿Cuál sería mi presentación clínica?

Los pacientes con cistitis suelen informar expulsión difícil, dolorosa e incompleta de la orina (disuria), aumento de la frecuencia urinaria, aumento de la urgencia urinaria y/o dolor suprapúbico. También pueden describir cambios en el color, el olor o la turbidez de la orina. Por el contrario, los pacientes con pielonefritis a menudo refieren síntomas constitucionales (por ejemplo fiebre, escalofríos, náuseas, vómitos) combinados con dolor en flancos o espalda, a veces sin síntomas de cistitis. También es importante tener en cuenta que los pacientes de edad avanzada con ITU pueden presentar quejas inespecíficas, síntomas mal localizados (por ejemplo letargo o confusión) y problemas crónicos con disuria (por ejemplo síndrome genitourinario de la menopausia), retención urinaria y dificultad para orinar (por ejemplo hiperplasia prostática) (Komisar, 2021).

¿Cómo se llega al diagnóstico?

El examen físico debe comenzar con una evaluación de los signos vitales. La presencia de fiebre, hipotensión, taquipnea y/o taquicardia debe impulsar una evaluación inmediata para detectar ITU complicada y posible sepsis. Se reco-

mienda un examen abdominal completo, con especial atención al dolor suprapúbico y a la evaluación de la vejiga, que puede ser palpable en caso de retención urinaria. Es conveniente realizar una percusión suave de ambos flancos para evaluar si hay dolor a la palpación del ángulo costovertebral, lo que sugeriría pielonefritis. Se debe considerar el examen pélvico en mujeres con síntomas sugestivos de vaginitis o cervicitis. Asimismo, se debe considerar el tacto rectal en hombres con síntomas sugestivos de prostatitis. En mujeres jóvenes, sanas y no embarazadas con síntomas compatibles con cistitis no complicada, el tratamiento empírico es apropiado sin necesidad de pruebas de laboratorio. Se debe recolectar un urocultivo si los síntomas no desaparecen o si existe preocupación por la resistencia. Por el contrario, a todos los demás pacientes se les debe realizar análisis de orina y urocultivo para documentar la infección e identificar el patógeno responsable y su sensibilidad a los antibióticos. Un análisis de orina positivo puede mostrar un nivel elevado de esterasa leucocitaria, que es producida por los glóbulos blancos (WBC) en la orina (piuria), y niveles elevados de nitritos, sustancia que las enterobacterias convierten a partir de nitratos. El análisis microscópico puede cuantificar aún más la cantidad de leucocitos en la orina; >5 glóbulos blancos se considera piuria. Los urocultivos se consideran positivos si el recuento de colonias supera las 10^4 unidades formadoras de colonias/mililitro aunque bien se pueden considerar positivos en aquellos con 10^5 unidades formadoras de colonias/mililitro de un uropatógeno en muestras recolectadas a través de la técnica de chorro medio (técnica más utilizada pero con tasas más elevadas de contaminación de muestra). Las imágenes del tracto urinario mediante ecografía o tomografía computarizada son apropiadas en pacientes con síntomas persistentes a pesar del tratamiento antimicrobiano adecuado después de 48 a 72 horas, y en pacientes que presentan enfermedad grave; además, los estudios de imagen sólo se justifican si se sospecha infección renal o anomalía genitourinaria (Komisar, 2021).

¿Cuáles datos me deberían alarmar?

La decisión de admitir pacientes en el ámbito hospitalario suele ser clara cuando los pacientes están sépticos o se encuentran en estado crítico. De lo contrario, las indicaciones generales para el tratamiento hospitalario incluyen fiebre alta persistente (p. ej., $>38.4^{\circ}\text{C}/101^{\circ}\text{F}$) o dolor, debilidad marcada o incapacidad para mantener la hidratación oral o tomar medicamentos orales. Además, se

justifica el tratamiento hospitalario cuando se sospecha una obstrucción del tracto urinario o existen dudas sobre el cumplimiento del paciente (Gupta, 2023).

¿Cuáles son los tratamientos más usados?

Este padecimiento se trata de manera rutinaria con antibióticos, ya que como se abordó anteriormente, *Escherichia coli* es el responsable del 75% de los cuadros de ITU en comunidad y de 60% de los casos intrahospitalarios. Habiendo comprendido lo anterior, los antimicrobianos de primera línea para las infecciones urinarias no complicadas recomendados por la Sociedad de Enfermedades Infecciosas de América del Norte, la Sociedad Estadounidense de Urología y el Colegio Estadounidense de Obstetras y Ginecólogos incluyen nitrofurantoína dos veces al día durante cinco días, trimetoprima más sulfametoxazol (TMP-SMX) dos veces al día durante tres días, o fosfomicina sobre 3 g en dosis única. Es necesario tener en cuenta la administración de antimicrobianos y la resistencia a los medicamentos al elegir la terapia con antibióticos. La nitrofurantoína sigue teniendo las tasas más bajas de resistencia a los antimicrobianos. El tratamiento empírico con TMP-SMX se considera apropiado cuando las tasas de resistencia son inferiores al 20%. Los antibióticos betalactámicos pueden ser apropiados en casos de intolerancia o alergia conocida del paciente a los agentes convencionales de primera línea. La nitrofurantoína puede tener tasas más bajas de biodisponibilidad en pacientes mayores de 65 años debido a la disminución de la función renal. Si la tasa de filtración glomerular (medida indirecta que evalúa qué tanto los riñones filtran la sangre eliminando los desechos y el exceso de agua para producir orina) es menor a 30 mililitros/minutos, se debe evitar la nitrofurantoína, ya que es posible que no alcance una concentración terapéutica en la orina. Las altas tasas de resistencia y la posibilidad de efectos secundarios graves deberían limitar el uso de antimicrobianos de fluoroquinolonas. La pielonefritis puede tratarse de forma ambulatoria en pacientes estables y bien hidratados con un seguimiento estrecho. La selección de antimicrobianos idealmente se basa en los resultados del urocultivo. Es aceptable el tratamiento empírico con antimicrobianos, fluoroquinolonas o TMP-SMX. El inicio del tratamiento en la sala de urgencias con una dosis parenteral única de un antibiótico betalactámico o aminoglucósido de acción prolongada, seguida de un tratamiento oral con fluoroquinolonas o TMP-SMX es un régimen aceptable. Se debe evaluar la respuesta adecuada de los pacien-

tes al tratamiento dentro de las 48 h. La nitrofurantoína y la fosfomicina no están indicadas para el tratamiento de la pielonefritis por niveles inadecuados del tejido renal. El tratamiento hospitalario de la pielonefritis debe comenzar con antimicrobianos parenterales, seguidos de la transición a agentes orales según la respuesta clínica y los resultados de los cultivos. La pielonefritis puede requerir una duración total de 10 a 14 días de tratamiento, aunque existe evidencia de que siete a 10 días pueden ser igualmente efectivos en pacientes de bajo riesgo. Por último, la terapia de apoyo incluye analgésicos urinarios como fenazopiridina e hidratación agresiva (Ford *et al.*, 2024).

¿Puedo prevenirlas?

La prevención se dirige principalmente a las reinfecciones sintomáticas recurrentes en mujeres, por ser el grupo con mayor número de reinfecciones. Aunque la eliminación de algunos factores de riesgo, como el empleo de geles de anticonceptivos espermicidas, puede disminuir el número de episodios, muchas mujeres continúan con reinfecciones sintomáticas. Los antimicrobianos han sido el pilar principal en el planteamiento de las infecciones, pero debido al aumento en la resistencia de los uropatógenos a los antimicrobianos, cada vez se están evaluando más otros planteamientos (Sobel *et al.*, 2021). Los cambios de comportamiento, como una mayor ingesta de líquidos en general de dos a tres litros de agua diaria, micción postcoital, una mejor higiene, así como evitar el estreñimiento podrían reducir las recurrencias (Gupta, 2024). El uso de estrógenos vaginales ha demostrado ser una estrategia eficaz en la prevención de la ITU recurrentes en mujeres postmenopáusicas y es recomendado. Continúa habiendo datos contradictorios sobre el uso de productos de arándano en la prevención de la ITU; hay algunos estudios que han ratificado su eficacia en la reducción de las infecciones, y otros que no lo han hecho. Una revisión de la base de datos Cochrane concluyó que el efecto beneficioso del zumo de arándano era escaso o nulo. Sin embargo, un metaanálisis publicado el mismo año determinó que existía cierto efecto protector, aunque reconociendo una sustancial heterogeneidad entre los ensayos clínicos incluidos. Un metaanálisis de publicación más reciente sugiere asimismo un efecto protector, reconociendo también en este caso la heterogeneidad, tanto de las poblaciones de pacientes estudiadas como de los productos de arándano utilizados. En el momento presente, no hay datos suficientes para establecer una recomendación clara, por lo

que serán necesarios otros ensayos de mayor alcance que utilicen un producto de arándano estandarizado. En la actualidad, es igualmente insuficiente la evidencia disponible para establecer una recomendación sobre el uso de probióticos sistémicos o intravaginales como estrategia para la prevención de la ITU recurrente. Las vacunas destinadas a prevenir la ITU se han estado estudiando durante décadas y, actualmente, hay varias vacunas candidatas prometedoras que se están evaluando en ensayos clínicos (Sobel *et al.*, 2021). Otros agentes no antimicrobianos con efectos antisépticos en el tracto urinario inferior incluyen suplementos de arándano con vitamina C, D-manosa y metenamina; sin embargo, los estudios que demuestran la eficacia clínica de estos agentes muestran efectos modestos con pocos efectos secundarios (Gupta, 2024).

Un problema actual de salud pública

Debido al uso excesivo de antibióticos, los organismos que alguna vez fueron sensibles a varios agentes antimicrobianos ahora son cada vez más resistentes, lo que hace que el tratamiento eficaz de las infecciones urinarias y la pielonefritis sea más desafiante. Lo más importante ha sido la creciente resistencia al TMP-SMX, el fármaco de elección actual de los proveedores de atención primaria para las infecciones urinarias agudas no complicadas. Se debe evitar el uso de fluoroquinolonas para el tratamiento de la cistitis aguda cuando existan alternativas adecuadas. La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos ha cambiado el etiquetado de los antibióticos quinolónicos para reflejar esta recomendación (Ford *et al.*, 2024). En los últimos años se ha producido un incremento global de la resistencia a antimicrobianos, principalmente en bacilos Gram-negativos. En las ITU, en la mayoría de las ocasiones el tratamiento antibiótico se instaura de forma empírica, siendo necesario conocer la epidemiología y las tasas de resistencias locales, algo fundamental en el caso de las enterobacterias, y particularmente de *E. coli*. El panorama dinámico y cambiante de resistencias entre los uropatógenos más frecuentes exige realizar una vigilancia activa de las cepas circulantes y sus patrones de resistencia antibiótica en cada institución y región geográfica, así como a nivel nacional. Debido a que existen diferencias significativas entre las tasas de resistencia a ciertos antibióticos entre distintas áreas geográficas, es necesario disponer de los datos de sensibilidad locales actualizados que servirán para adecuar las recomendaciones en cuanto al tratamiento empírico de la ITU (Zboromyrska

et al., 2019). El incremento de cepas resistentes a una diversidad de antibióticos ha llevado a la Organización Mundial de la Salud a alertar sobre el peligro que esto representa para el tratamiento de diversas infecciones. Este fenómeno se observa claramente en el caso de las ITU en nuestro país, ya que las recomendaciones señalan el uso de antibióticos a los que *E. coli* muestra una alta resistencia, 56.1 y 60.7% para trimetoprim/sulfametoxazol y ciprofloxacino, respectivamente (Ahumada-Cota *et al.*, 2022).

¿Cómo diferenciarlas con otros padecimientos?

Las manifestaciones de la ITU se superponen con los signos de sepsis observados en niños pequeños y con enteritis, apendicitis, linfadenitis mesentérica y neumonía en niños mayores. La disuria puede indicar infección por oxiuros, hipersensibilidad a los jabones o detergentes, vaginitis o abuso sexual e infección (Marcdante *et al.*, 2023). En mujeres con disuria, la presencia de secreción u olor vaginal, prurito, dispareunia y ausencia de frecuencia o urgencia urinaria deben hacer que se considere la posibilidad de vaginitis. La evaluación de uretritis está justificada en mujeres sexualmente activas con disuria, particularmente aquellas con piuria en el análisis de orina, pero sin bacteriuria. El dolor pélvico o en la parte baja del abdomen y la fiebre son los hallazgos clínicos más comunes en pacientes con enfermedad inflamatoria pélvica (EPI), aunque también puede haber disuria. Los hallazgos de secreción endocervical mucopurulenta o dolor al movimiento cervical en el examen pélvico son fuertemente sugestivos de EPI (Gupta, 2024). Mientras, en varones con prostatitis bacteriana aguda también se pueden observar disuria, frecuencia y urgencia urinarias y piuria. La presencia de fiebre, escalofríos, malestar general, mialgias, dolor pélvico o perineal, o síntomas obstructivos como goteo (debido a la retención urinaria aguda) en un hombre con síntomas de cistitis sugiere prostatitis bacteriana aguda. También se ha descrito dolor que se irradia a la punta del pene en pacientes con prostatitis aguda. Cualquiera de estos signos y síntomas debe indicar la realización de un tacto rectal suave, y el hallazgo de una próstata edematosa y dolorosa ayuda a confirmar este diagnóstico alternativo. Se debe considerar la prostatitis crónica subyacente en hombres con cistitis, particularmente en aquellos hombres que tienen ITU recurrentes causadas por la misma cepa de bacteria. Se debe considerar la posibilidad de uretritis en varones sexualmente activos (Gupta, 2024).

¿Mi orina es estéril?

En contra de lo que se pensaba hasta hace unos años, la orina humana en condiciones normales no es estéril: posee su propia microbiota o conjunto de microorganismos residentes, que pueden ser comensales, mutualistas o patógenos. Si bien la microbiota urinaria es menos abundante y diversa que en otras localizaciones de nuestro organismo (microbiota intestinal, vaginal, cutánea, etc.), también se le atribuye un efecto beneficioso protector frente a determinados patógenos, a través de constituir una barrera física y contribuir al desarrollo de inmunidad. Existe un amplio rango de 20-500 especies bacterianas. En la población general, esta microbiota urinaria sufre cambios “fisiológicos” en función de la edad y género; por ejemplo, predominan *lactobacillus* en mujeres y *corynebacterium* y estreptococos en hombres. Hay un cuerpo creciente de evidencia que relaciona la “disbiosis” (cambios en la diversidad o cantidad de microbiota urinaria normal) con algunas patologías urológicas. El uso de antibióticos de amplio espectro puede afectar negativamente a esta microbiota urinaria, disminuyendo la flora beneficiosa y favoreciendo una selección de flora patógena, que podrá ocasionar síntomas de infección del tracto urinario (Delgado-Mallen *et al.*, 2022).

Conclusión

Tal como se ha venido abordando a lo largo del escrito, las infecciones de vías urinarias y/o del tracto urinario representan actualmente un problema de salud pública en varios aspectos. El primero es que las mismas son una de las principales causas de morbilidad a nivel mundial, ocasionando impresionantes gastos a los servicios de salud; el segundo de ellos es que a pesar de nuevas tecnologías disponibles para llegar a su diagnóstico, pareciera que éstas mermaran al clínico, haciendo juicios inequívocos, principalmente confundiendo la bacteriuria asintomática con lo que realmente representaría una infección, todo esto lleva a cuestionarse si realmente las infecciones del tracto urinario son realmente tan frecuentes como se describen a través de diferentes fuentes, o será que las estadísticas están sesgadas debido a las malas prácticas y análisis de laboratorio mal interpretados, principalmente de pruebas de tiras reactivas, microscopía y urocultivos.

Sería importante entonces, en primera instancia, hacernos un juicio antes de llegar a su diagnóstico y como alternativa implementar nuevas terapias, excluyendo la medicación con antibióticos, con el fin de evitar la resistencia microbiana que desde hace años viene ocasionando auge como un problema mundial que podría traer consigo graves repercusiones a la salud y a la calidad de vida.

Lecturas recomendadas

- Ahumada-Cota, R. E., *et al.* (2022). Infecciones del tracto urinario en México, un problema de salud pública. *Tendencias en Docencia e Investigación en Química*, 8, 728-734. https://zaloamati.azc.uam.mx/bitstream/handle/11191/9630/Infecciones_del_tracto_urinario_2022.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Baldeyrou, M., *et al.* (2018). Infecciones urinarias. *Tratado de Medicina*, 22(2), 1-8. https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/service/content/pdf/watermarked/51-s2.0-S1636541018893114.pdf?locale=es_ES&searchIndex=
- Brito-Rojas, E., *et al.* (2021). Resistencia antimicrobiana en pacientes con infección del tracto urinario. *Multimed*, 25(6). <http://scielo.sld.cu/pdf/mmed/v25n6/1028-4818-mmed-25-06-e1481.pdf>
- Dekronja, D. (2024). Approach to the Patient with Urinary Tract Infection. *Goldman-Cecil Medicine* (27ª ed., pp. 1873-1878). Elsevier. <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/book/3-s2.0-B978032393038300263X?scrollTo=%23hl0000841>
- Delgado-Mallen, P., *et al.* (2022). Infecciones de las vías urinarias y de transmisión sexual. *Nefrología al día*. <https://www.nefrologiaaldia.org/es-articulo-infecciones-de-la-vias-urinarias-y-de-trasmision-sexual-462>
- Elsevier. (2023, 25 de septiembre). *Urinary Tract Infection in Adults*. ClinicalKey. <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/clinical-overview/67-s2.0-9f7bed12-c0ec-47a4-b7c2-d7aca354df5d>
- Ford, S., *et al.* (2024). Urinary Tract Infection. *Ferri's Clinical Advisor 2024* (26ª ed., pp. 1101-1104). Elsevier. <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/book/3-s2.0-B9780443117244010528>
- Gupta, K. (2023, 11 de diciembre). *Acute complicated urinary tract infection (including pyelonephritis) in adults and adolescents*. UpToDate. <https://www.uptodate.com/contents/acute-complicated-urinary-tract-infec>

- tion-including-pyelonephritis-in-adults-and-adolescents?search=infeccion%20de%20vias%20urinarias%20&source=search_result&selectedTitle=2%7E150&usage_type=default&display_rank=2#H3104360530
- . (2024a, 22 de abril). *Acute simple cystitis in adult and adolescent males*. UpToDate. https://www.uptodate.com/contents/acute-simple-cystitis-in-adult-and-adolescent-males?search=infeccion%20de%20vias%20urinarias%20diagnostico%20diferencial&source=search_result&selectedTitle=6%7E150&usage_type=default&display_rank=4
- . (2024b, 23 de mayo). *Acute simple cystitis in adult and adolescent females*. UpToDate. https://www.uptodate.com/contents/acute-simple-cystitis-in-adult-and-adolescent-females?search=infeccion%20de%20vias%20urinarias%20%20&source=search_result&selectedTitle=6%7E150&usage_type=default&display_rank=4
- Komisar, J. R. (2021). Urinary Tract Infection. *Netter's Integrated Review of Medicine* (1ª ed., pp. 513-517). Elsevier. <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/book/3-s2.0-B9780323479387001202>
- Secretaría de Salud. (2021). *Diagnóstico y tratamiento de la infección de vías urinarias no complicada en menores de 18 años en el primer y segundo niveles de atención*. Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud. <https://www.cenetec-difusion.com/cmGPC/gpc-ss-027-21/er.pdf>
- Shaikh, N., et al. (2022, 02 de diciembre). *Urinary tract infections in children: Epidemiology and risk factors*. UpToDate. https://www.uptodate.com/contents/urinary-tract-infections-in-children-epidemiology-and-risk-factors?search=factores%20de%20riesgo%20infeccion%20de%20vias%20urinarias&source=search_result&selectedTitle=2%7E150&usage_type=default&display_rank=2
- Sobel, J. D., et al. (2021). Infecciones del tracto urinario. *Mandell, Douglas, Bennett. Enfermedades infecciosas. Principios y práctica* (9ª ed., pp. 962-968). Elsevier España. <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/book/3-s2.0-B9788491134992000722?scrollTo=%23hl0001767>
- Zboromyrska, Y., et al. (2019). *Diagnóstico microbiológico de las infecciones del tracto urinario*. *Procedimientos en microbiología clínica*. SEIMC. <https://seimc.org/contenidos/documentoscientificos/procedimientosmicrobiologia/seimc-procedimiento14a.pdf>

¿Cómo se altera el cerebro en el comportamiento suicida?

MARÍA FERNANDA ORTEGA MORFÍN*
SERGIO SÁNCHEZ ENRÍQUEZ**

Introducción

A nivel global el comportamiento suicida es un creciente problema de salud pública que envuelve conductas muy complejas cuyo desencadenante puede ser multifactorial y que engloba diversas acciones que emprendemos deliberadamente que atentan contra nuestra propia vida, como pueden ser la ideación, la planeación, el intento y la consumación del suicidio. En dichos comportamientos inciden factores sociales, psicológicos y biológicos, particularmente; en el presente artículo nos concentramos en los últimos y hablaremos de cómo nuestro cerebro puede afectar nuestra conducta y elevar nuestro riesgo a presentar comportamientos suicidas.

Para explicar estos comportamientos desde un componente de funcionalidad cerebral, analizaremos la estructura y funciones básicas del cerebro, que es el órgano cuya complejidad le permite tener la capacidad de controlar la conducta y de modular la respuesta emocional, motriz y sensorial de nuestro organismo, podríamos decir que es la computadora que permite que se produzcan y ejecuten todas las funciones sustantivas que utilizamos día con día.

* Universidad de Guadalajara.

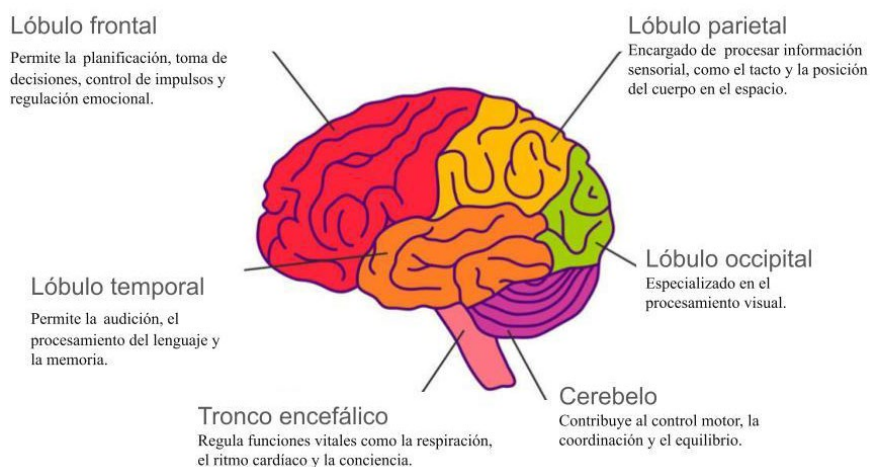
** Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos.

Disciplinas como la neuropsicología estudian las estructuras y el funcionamiento del sistema nervioso central, incluido el cerebro y los procesos cognitivos y conductuales, y gracias a sus estudios nos permiten identificar aquellos que se ven alterados en el comportamiento suicida, y se analizan algunos de los principales cambios que se pueden presentar a nivel cerebral y que elevan el riesgo de dicho comportamiento, como puede ser el padecer un trastorno mental como la depresión, la ansiedad, el trastorno bipolar, o que la persona consuma alcohol o drogas.

El asombroso cerebro

El cerebro humano se divide en varias estructuras principales, cada una con funciones específicas.

Figura 1. Estructura del cerebro



Fuente: elaboración propia.

El cerebro humano “está formado por millones de neuronas (86 mil millones) que, interconectadas mediante axones y dendritas, permiten regular todas y cada una de sus funciones” (Terrazas, 2019, 19 de septiembre). El axón de una neurona surge del cuerpo de la célula y permite transmitir a otras neuronas

impulsos nerviosos; las dendritas son ramificaciones de la célula que reciben y procesan la información que reciben.

Las neuronas son la unidad básica del cerebro, sus principales funciones son transmitir señales con impulsos eléctricos que liberan los llamados neurotransmisores. Los neurotransmisores son moléculas que funcionan como mensajeros químicos del cerebro, emitiendo señales inhibitorias o excitatorias que generan impulsos nerviosos o los evitan.

Si las neuronas las imaginamos como oficinas de correo postal y los neurotransmisores fueran los mensajes que se envían entre oficinas, entonces las concentraciones de neurotransmisores pueden no ser las adecuadas y esto puede ser porque su degradación sea muy acelerada, es decir se destruya el mensaje recibido por la otra oficina de correos antes de procesarlo, o porque el proceso de recaptación de la neurona que las generó sea muy rápida, la recaptación implicaría que la oficina cancele la entrega y devuelva el mensaje a sus oficinas sin entregarlo, esto se refleja en alteraciones o cambios en nuestro comportamiento y en ciertas afectaciones a las funciones del cerebro, no estamos recibiendo todos los mensajes y nuestra oficina postal no trabaja adecuadamente.

Si bien los neurotransmisores tienen un periodo de acción limitado, existen inhibidores de recaptación que se utilizan para prolongar su efecto y que pueden usarse; por ejemplo, para la inhibición de la recaptación de serotonina, que es el neurotransmisor asociado al estado de ánimo, el sueño, el apetito y la cognición y que se utiliza en fármacos como un antidepresivo común.

Particularmente hay dos neurotransmisores asociados al comportamiento suicida, dos mensajes que nuestra oficina postal debería recibir oportunamente y son la serotonina y la dopamina.

La serotonina es el neurotransmisor que desempeña un papel primordial en la regulación de la depresión y la ansiedad, cuando se encuentra en niveles equilibrados se le asocia con un buen estado de ánimo y una sensación general de bienestar.

Y por su parte, la dopamina es un neurotransmisor importante que está involucrado en el control del movimiento, la motivación y el placer. La dopamina es especialmente relevante en situaciones donde se obtiene una recompensa, como cuando recibes cumplidos, completas una tarea o experimentas placer. También puede influir negativamente en las adicciones y en el comportamiento compulsivo.

El comportamiento suicida

El comportamiento suicida (cs) es un fenómeno complejo que implica componentes cognitivos y conductuales. “El cs es un continuo que incluye: ideación, planeación, intento y suicidio” (Valdez-Santiago *et al.*, 2023: 111).

La ideación suicida es un proceso cognitivo en el que la persona de manera reiterada tiene pensamientos sobre su propia muerte, y la planeación es pensar el cómo lo llevará a cabo.

Los intentos de suicidio son un componente conductual, donde la persona se provoca un daño con el fin de quitarse la vida, generalmente. De acuerdo con la oms:

[...] son impulsivos y tienen menos de 30 minutos de planificación. El impulso frecuentemente es breve. Más del 90% de las personas que acuden a los servicios de atención de salud después de autolesionarse deliberadamente no mueren por suicidio más adelante en la vida (2023: 174).

El intento de suicidio se considera como el predictor más importante para el suicidio (Valdez-Santiago *et al.*, 2023: 111).

Por ello es importante reforzar el tratamiento médico y psicológico que se le brinde a un paciente que ya haya sido ingresado o derivado a servicios de salud o de emergencias por un intento de suicidio.

A diferencia del intento de suicidio, se han registrado las conductas autolesivas que se provocan sin tener como fin quitarse la vida, las cuales “cumplen dos objetivos en concreto: primero, para la persona que se autoinflige es un método de catarsis, segundo, permite visibilizar a los demás, generalmente padres o amigos, el acto cometido, provocando cierta preocupación” (Chow, 2019: 81).

El suicidio en cifras

A nivel mundial, de acuerdo con datos de la oms en 2019 se registraron 703,000 casos de suicidios. La tasa mundial de suicidios ese mismo año se calculó en nueve por cada 100 mil habitantes, con una tasa mayor en países con ingresos altos, cuya tasa fue del 10.9 por cada 100 mil (oms, 2023: 48), aunque se podría explicar dicha cifra por la mayor posibilidad de un buen registro de las cifras en dichos países más desarrollados.

En los países en desarrollo, que incluye a México, se calcula que:

Alrededor de tres cuartas partes (77%) de todos los suicidios ocurren en los países de ingresos bajos y medianos, en los que vive la mayoría de la población mundial. En la Región de las Américas ha aumentado la tasa de suicidio un 17% en los últimos 20 años (OMS, 2023: 48 y 49).

El número de intentos de suicidio también es alarmante, pues se estima que “puede haber 20 intentos de suicidio por cada muerte por esta causa y es una de las principales causas de muerte en la población joven” (OMS, 2023: xv).

A nivel nacional, en México el INEGI reportó en 2022:

[...] una tasa de suicidios de 6.3 por cada 100 mil habitantes y tristemente se ha registrado un alza en las muertes por suicidio, pues en el 2017, la tasa de suicidio fue de 5.3 por cada 100 mil habitantes (6,494) y para 2022 fue del 6.3 (8,123), lo que equivale a 1,629 suicidios más en 2022 con respecto a los ocurridos en 2017 (INEGI, 2023: 1).

La cifra de autolesiones en México reportadas ese mismo año por la Secretaría de Salud fue de “9,847 personas, de las cuales el 58.8% fueron mujeres; el principal grupo de edad fue el de 10 a 19 años (41.07%), seguido del grupo de 20 a 29 años, con (27.47%)” (Valdez-Santiago *et al.*, 2023: 111).

A nivel estatal, en 2022 Jalisco reportó una tasa de suicidios más alta que la nacional, pues fue de 7.6 defunciones por cada 100 mil habitantes, en total hubo 654 suicidios (IIEG, 2023: 2).

Estas cifras muestran un panorama de la problemática latente a nivel global, nacional y local del comportamiento suicida, pero sería un error ligar todos estos casos a desequilibrios neurológicos de las personas, pues no debemos olvidar que el suicidio es un fenómeno multifactorial, por ello repasaremos brevemente algunas condiciones sociodemográficas asociadas.

Características sociodemográficas del suicidio

Sexo

Las características en el comportamiento suicida entre hombres y mujeres están ampliamente estudiadas, sabemos que, a nivel mundial, las mujeres intentan más suicidarse que los hombres, pero son los hombres quienes consuman el acto y que presentan mayores cifras de suicidio. De acuerdo con la OMS: “mueren por suicidio el doble de hombres que de mujeres. En los países de ingresos

altos, la razón hombre:mujer para muerte por suicidio es aún mayor, con tres hombres por cada mujer” (2023: 48).

En México en 2022 la tasa de suicidio en hombres fue de 10.5 por cada 100 mil personas, mientras que en mujeres fue de 2.3 por cada 100 mil, lo que equivale a que ocho de cada 10 fallecimientos por suicidios en México ocurren en hombres (81.3%) y dos de cada 10, en mujeres (18.7%) (INEGI, 2023: 2).

Jalisco no es la excepción e incluso presenta cifras más altas del porcentaje de suicidios cometidos por hombres (82.3%) comparado con el (17.7%) de las mujeres. “La mortalidad por esta causa en hombres es 4.6 veces mayor que en las mujeres, es decir, que por cada 4.6 suicidios de varones se presentó uno de alguna mujer” (IEEG, 2023: 2).

Edad

En general el suicidio afecta a todos los grupos de edad, pero de acuerdo con la oms se ha reportado un aumento de las autolesiones en los adolescentes. Actualmente el suicidio es la cuarta causa de muerte en las personas de 15 a 29 años, lo que representa el 8% de todas las muertes en este grupo etario (oms, 2023: 49).

Si nos centramos en los jóvenes universitarios:

Las conductas asociadas al suicidio, la sintomatología depresiva y los trastornos de ansiedad son los motivos de consulta más frecuentes entre la población universitaria. Se ha demostrado que los trastornos mentales en los universitarios impactan su desempeño académico y la permanencia en sus estudios (Santillán Torres *et al.*, 2019: 171).

A nivel nacional, los valores más altos de la tasa de suicidio en 2022 por grupo de edad se encontraron en la población entre los 20 y 34 años, yendo del 10.6 por cada 100 mil en los jóvenes de 20 a 24 años, al 11.6 por cada 100 mil en el grupo de 25 a 29 años, seguidos del grupo de 30 a 34 años (11.0 por cada 100 mil). Preocupa la tasa de suicidios en las y los niños de 10 a 14 años y adolescentes entre 15 a 19 años, que fue de 2.1 y 7.7 por cada 100 mil, respectivamente (INEGI, 2023: 3).

A nivel estatal, en Jalisco la tasa más elevada de suicidios por grupos de edad la presentaron los adultos jóvenes, con el 37.8% de los suicidios cometidos por personas entre 20 y 34 años, siendo muy similar la distribución que a nivel

nacional. La cifra que tristemente es mayor que la nacional, es la de muertes por suicidio entre niñas, niños o adolescentes de entre 10 y 19 años, con una tasa del 11.8% (HIEG, 2023: 2).

El cerebro humano y su relación con el comportamiento suicida

Por sus funciones específicas, la mayor parte de los estudios que analizan la relación entre el cerebro y el comportamiento suicida, se centran en daños en el lóbulo frontal y en alteraciones en los niveles de neurotransmisores en el organismo y/o en el sistema límbico.

El lóbulo prefrontal y el comportamiento suicida

El lóbulo prefrontal es como el “director ejecutivo” de tu cerebro, que te ayuda a tomar decisiones importantes y a controlar tus emociones.

En la corteza cerebral, la parte prefrontal puede experimentar disfunciones, ya sea por razones genéticas, trauma cerebral, trastornos mentales u otros factores, lo que puede provocar que surjan problemas graves en la forma en que una persona maneja sus emociones y toma decisiones, pues ésta puede llegar a inhibir la obtención del placer, la motivación y la curiosidad por la vida, e incluso dificultar la integración del individuo en un determinado entorno social. Puede implicar, por ejemplo:

- Regulación emocional comprometida: la capacidad para regular y controlar emociones intensas puede verse afectada. Esto puede llevar a una mayor susceptibilidad a experimentar emociones negativas como la desesperanza, la tristeza profunda y la impulsividad, todas las cuales son factores de riesgo para la conducta suicida.
- Alteración, fallo o dificultad en la toma de decisiones y en la evaluación de riesgos y recompensas a largo plazo: una disfunción en esta región puede llevar a una toma de decisiones impulsivas o irracionales, donde la persona no considera las consecuencias a largo plazo de sus acciones. Esto puede aumentar el riesgo de comportamientos autodestructivos, incluido el suicidio.

- Control de impulsos reducido: la persona puede tener dificultades para resistir impulsos negativos o peligrosos, como la autolesión o el suicidio, especialmente en momentos de estrés extremo o de desesperación.
- Alteración en la percepción de la realidad: en algunos casos, puede llevar a distorsiones en la percepción de la realidad, como pensamientos distorsionados, alucinaciones o paranoia. Estos estados mentales pueden contribuir a la aparición de ideas suicidas o de comportamientos autolesivos.

No hay que olvidar que el suicidio es un fenómeno multifactorial y las disfunciones en la corteza prefrontal pueden ser sólo uno de los muchos elementos que contribuyen a la vulnerabilidad de una persona hacia el suicidio.

El sistema límbico en la conducta suicida

Este sistema está relacionado con las emociones y la memoria. Incluye estructuras como el hipotálamo, el hipocampo y la amígdala. El hipotálamo regula funciones corporales como el hambre, la sed, la temperatura corporal y el sueño. El hipocampo es crucial para la formación de nuevos recuerdos, mientras que la amígdala cumple un papel importante en el procesamiento de las emociones, especialmente el miedo y la ansiedad. Así que las alteraciones en alguna de las estructuras del sistema límbico nos pueden dificultar el procesamiento del miedo y de la ira, que son emociones negativas que alteran nuestro comportamiento y nuestro estado del ánimo, y si además presentamos alteraciones del sueño y del apetito, nos volvemos más vulnerables a estados de estrés, a la depresión y a la ansiedad, que son todos factores de riesgo para el suicidio.

Los neurotransmisores y el comportamiento suicida

Parece claro que la serotonina y algunos de sus receptores se encuentran alterados tanto en el suicida como en el deprimido (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 417). El sistema serotoninérgico se ha estudiado como un factor que predispone al comportamiento suicida, pues sabemos que es el responsable de transportar la serotonina y el genotipo de la enzima triptófano hidroxilasa (TPH), que son elementales para la estabilidad emocional en el organismo.

En el contexto del suicidio, se ha observado que las personas que han intentado o completado el acto tienen niveles más bajos de serotonina en ciertas

áreas del cerebro (Chow, 2019: 76). Se cree que la falta de serotonina puede contribuir a sentimientos de desesperanza, desesperación y baja autoestima, todos los cuales son factores de riesgo para el suicidio.

La serotonina tiene metabolitos, que son el producto que se forma cuando se descompone o metaboliza la serotonina en el cerebro; el principal metabolito de la serotonina es el ácido 5-hidroxi-indolacético (5-HIAA), el cual se produce como resultado de la metabolización de la serotonina en el cuerpo. Aunque el 5-HIAA en sí mismo no es un neurotransmisor activo en el sentido tradicional, su nivel en el líquido cefalorraquídeo (LCR) o en la orina se utiliza como un marcador indirecto de la actividad de la serotonina en el cerebro, por lo tanto, se analiza en estudios clínicos y de investigación para evaluar la función de la serotonina y su posible relación con trastornos neuropsiquiátricos. Si bien, no se utiliza como una medida diagnóstica definitiva, los niveles anormales de 5-HIAA pueden estar asociados al suicidio; por ejemplo:

[...] niveles bajos de 5-HIAA se han encontrado disminuidos en el líquido cefalorraquídeo de individuos con intentos violentos de suicidio, y la baja cantidad de 5-HIAA, aunada a la disminución del ácido homovanílico (HVA) en el líquido cefalorraquídeo, parece ser un marcador biológico del comportamiento suicida en al menos algunos pacientes depresivos (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 323).

Existen siete tipos de receptores de la serotonina, los 5-HT hidroxitriptamina, regulan la liberación de varios neurotransmisores como la dopamina, la adrenalina y norepinefrina, así como algunas hormonas, entre ellas el cortisol y sustancia P, y funcionan como mediadores en la neurotransmisión excitatoria e inhibitoria de las neuronas (Pandey, 2003: 116).

La neurotransmisión excitatoria de la serotonina implicaría que se permita su captación, le da luz verde al proceso de liberación de dicho neurotransmisor; por otro lado, la neurotransmisión inhibitoria de las neuronas consiste en impedir que se reciba la señal o la sustancia que brinda el neurotransmisor.

Los receptores de la serotonina (5-HT hidroxitriptamina) se subdividen en tres subtipos, principalmente dos han sido ampliamente estudiados en su relación con el comportamiento suicida y la depresión previa. El subtipo 5-HT_{1A} que se le relaciona de manera fundamental con “la ansiedad, la depresión y las acciones de los tratamientos antidepresivos clínicamente eficaces” (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 323 y 324), este subtipo se ha identificado en

estudios post *mortem* de suicidas con un aumento de su densidad en la corteza prefrontal ventral y una disminución de los sitios de unión del transportador serotoninérgico en esta misma región cerebral.

Por su parte, el subtipo del receptor de serotonina 5-HT_{2A} se ha identificado incrementado

[...] en células piramidales de la capa V de la corteza prefrontal e hipocampo de suicidas adultos y adolescentes. Estas neuronas modulan e integran funciones mediadas por sistemas serotoninérgicos, glutamatérgicos, GABAérgicos y dopaminérgicos, lo que abre el abanico de opciones de neurotransmisores involucrados en el suicidio (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 323 y 324).

La complejidad de nuestro cerebro y de las múltiples funciones que cumplen los neurotransmisores, ha permitido identificar que no es un solo sistema de neurotransmisores el involucrado en el comportamiento suicida, la dopamina y su metabolito ácido homovanílico (HVA) también ha presentado evidencia de alteraciones en casos de suicidio, por lo que se le considera un marcador biológico de vulnerabilidad para el comportamiento impulsivo que es necesario para quitarse la vida, pues se han encontrado niveles bajos de HVA en el líquido cefalorraquídeo y de serotonina en suicidas y personas con depresión mayor y altas concentraciones de dopamina en personas que presentaron conductas autoagresivas y que cometen autolesiones y/o suicidio (Da Silva, Olivares y Carvalho, 2019: 40).

La dopamina, al igual que la serotonina, desempeña un papel importante en la regulación de la motivación, el placer y la recompensa, y su desequilibrio puede contribuir a la pérdida de interés en la vida y la sensación de vacío emocional, que son características comunes en personas con riesgo de suicidio.

Trastornos mentales asociados al comportamiento suicida

Un factor biológico que ampliamente se ha asociado al mayor riesgo de comportamiento suicida son los trastornos mentales, los cuales de acuerdo con la OMS afectan a una de cada ocho personas en el mundo e implican un alto costo de salud pública; se proyecta que “las personas con problemas de salud mental graves mueren de 10 a 20 años antes que la población general y que tienen un riesgo mucho mayor de suicidio y de enfermedad física” (2023: 47 y 75).

A través de las investigaciones que se hacen, se calcula que el 90% de las personas que mueren por suicidio tienen uno o más trastornos mentales concomitantes (Esang y Ahmed, 2018: 6). Es decir, presentan más de un trastorno a la vez, lo que implica que su diagnóstico es complejo, su tratamiento debe ser integral y el riesgo que corren por ejemplo al suicidio puede ser mayor.

Los trastornos mayormente asociados al suicidio son el trastorno bipolar, el trastorno depresivo mayor, la esquizofrenia y el trastorno de ansiedad. En el trastorno bipolar “se calcula que el riesgo de suicidio es 22 veces mayor que el de la población general” (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 418).

Varios estudios de autopsias psicológicas de víctimas de suicidio han demostrado que la mayoría padecía un trastorno del estado de ánimo, generalmente depresión mayor, con comorbilidad frecuente de varios otros trastornos mentales, en particular trastornos de ansiedad (Gonda, Fountoulakis, Kaprinis y Rihmer, 2007: 2).

Diagnosticar y tratar a tiempo los trastornos depresivos es primordial para la prevención del suicidio, pero en nuestra realidad, incluso en países de ingresos altos “sólo un tercio de las personas con trastornos depresivos mayores reciben atención formal de salud mental” (OMS, 2023: 64).

Un trastorno común concomitante con la depresión son los trastornos de ansiedad, los cuales se ha demostrado que aumentan el riesgo de suicidio “al facilitar la comisión del acto suicida cuando los pacientes enfrentan un periodo de ansiedad aguda o accesos de ansiedad” (Gutiérrez-García y Contreras, 2008: 419).

Adicciones y su relación con el suicidio

Tanto el consumo de sustancias psicoactivas como el alcohol se han identificado como factores de riesgo a intentos de suicidio y muerte por suicidio, se sabe que “las personas con dependencia al alcohol y las personas que consumen drogas tienen entre 10 y 14 veces más riesgo de muerte por suicidio” (Esang y Ahmed, 2018: 6).

Se ha identificado una relación directa e inversa entre las personas que tienen un trastorno por consumo de sustancia psicoactivas y quienes padecen un trastorno de salud mental, pues de acuerdo con datos de la OMS:

[...] alrededor de un tercio de las personas con trastornos por consumo de sustancias psicoactivas también tienen un trastorno de salud mental, y las personas con un trastorno de salud mental también son más propensas a desarrollar un trastorno por consumo de sustancias psicoactivas (2023: 7 y 8).

Estudios en Estados Unidos han identificado que el consumo de cualquier sustancia psicoactiva eleva el riesgo de conducta suicida, “el alcohol y los opioides (drogas como la morfina, la codeína, la heroína o el fentanilo) son las sustancias más comunes identificadas entre los fallecidos por suicidio (22 y 20%, respectivamente), muy por encima de las tasas de marihuana (10.2%), cocaína (4.6%) y anfetaminas (3.4%)” (Esang y Ahmed, 2018: 6).

Consumo de alcohol

Cualquier adicción *per se* es mala para la salud, pero una de las más comunes por ser de venta legal en prácticamente todo el mundo es el alcohol, el cual entre las muchas repercusiones que puede tener es que incide en factores psicosociales que podrían incrementar la probabilidad de que una persona cometa suicidio; por ejemplo, alteraciones en las relaciones interpersonales, contribución a episodios depresivos, impulsividad y agresividad, pérdida de empleo, inseguridad financiera, violencia de pareja, etcétera.

Hoy en día sabemos que “las probabilidades de conducta suicida son aproximadamente tres veces mayores entre las personas con trastorno por consumo de alcohol y que es el segundo trastorno mental más comúnmente identificado entre los fallecidos suicidas en todo el mundo” (Conner y Bagge, 2019: 1 y 2).

Para determinar la relación entre el consumo de alcohol y el suicidio se analiza *post mortem* el nivel de concentración de alcohol en la sangre; en Estados Unidos se ha podido identificar que “el 24% de los hombres y el 17% de las mujeres tenían niveles de concentración de alcohol en la sangre, que superan los 008 g. /dL, el límite legal nacional de Estados Unidos para beber y conducir” (Conner y Bagge, 2019: 2).

Otra relación que se ha encontrado entre el consumo de alcohol agudo y la intoxicación por alcohol con el suicidio, es que acelera el impulso suicida, lo que se traduce en que incide en la ideación suicida pues aumenta la agitación y el deterioro de la percepción, hace al individuo más propenso de correr riesgos o a tener comportamientos impulsivos y a ser menos propenso a buscar soluciones

alternativas para autorregularse, aumentando la desinhibición, lo que eleva el riesgo de la conducta suicida (Rizk, Herzog, Dugad y Stanley, 2021: 195).

Las afectaciones principales neurofisiológicamente hablando por el consumo crónico del alcohol, se localizan en el lóbulo prefrontal, que es el responsable de las funciones ejecutivas que nos distinguen como humanos; los déficits cognitivos que surgen del abuso repetido de alcohol pueden afectar la regulación de las emociones, la toma de decisiones y el control del comportamiento, lo que podría contribuir a un mayor riesgo de suicidio.

Conclusiones

Nuestro cerebro es un órgano complejo y aún más las conexiones y funciones que se ejecutan en él todo el tiempo, hoy gracias a las investigaciones sabemos que podemos identificar funciones cerebrales asociadas al riesgo de suicidio, conocemos el papel que ejercen los antecedentes de trastornos mentales y las implicaciones que puede tener el consumo de drogas y el alcohol.

Más que alarmarnos, hay que tener claro que la conducta suicida es prevenible y tratable, para ello hay que saber identificar las señales de alarma y pedir ayuda de un profesional, ya sea médico, psicólogo o psiquiatra, llevar el tratamiento adecuado indicado por un profesional y realizar acciones protectoras como hacer ejercicio y tener una alimentación saludable. Como sociedad, todos podemos ayudar a disminuir su incidencia, rompiendo el estigma de pedir ayuda, reconociendo afectaciones a nuestra salud mental y escuchando y orientando a quien pudiera estar en riesgo de suicidio.

Dentro del sistema sanitario, es primordial que se fortalezca la formación de los profesionales de primer nivel no psiquiátricos, para saber reconocer y tratar la depresión y los trastornos asociados y promover la prevención del suicidio en la atención médica primaria. Para ello, “la educación y la alfabetización en salud mental son cruciales para detectar tempranamente los primeros episodios de depresión y otros trastornos relacionados con el suicidio, como autolesiones no suicidas, consumo de sustancias, trastorno bipolar, entre otros” (Santillán, 2023: 10).

Lecturas recomendadas

- Chow, L. C. A. (2019). Diálogo con jóvenes: Voces, experiencias y narrativas sobre el suicidio. *Revista Humanismo y Cambio Social*, pp. 71-84. <https://camjol.info/index.php/HCS/article/view/8837/9945>
- Conner, K. R., & Bagge, C. L. (2019). Suicidal Behavior: Links Between Alcohol Use Disorder and Acute Use of Alcohol. *Alcohol Research: Current Reviews*, 40(1), arcr.v40.1.02. <https://doi.org/10.35946/arcr.v40.1.02>
- Da Silva Rodríguez, C. Y. D. S., Olivares Peña, J. L., & Carvalho de Figueiredo, P. A. (2019). Descripción anatómo-funcional de un suicidio por consumo adictivo de inhalables, estudio de caso post-mortem. *Revista Internacional de Investigación en Adicciones*, 5(2), 38-47. doi: 10.28931/riiad.2019.2.05
- Esang, M., & Ahmed, S. (2018). A closer look at substance use and suicide. *American Journal of Psychiatry Residents' Journal*. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp-rj.2018.130603>
- Gonda, X., Fountoulakis, K. N., Kaprinis, G., & Rihmer, Z. (2007). Prediction and prevention of suicide in patients with unipolar depression and anxiety. *Annals of General Psychiatry*, 6, 1-8. <https://doi.org/10.1186/1744-859X-6-23>
- Gutiérrez-García, A. G., & Contreras, C. M. (2008a). El suicidio y algunos de sus correlatos neurobiológicos. Primera parte. *Salud Mental*, 31(4), 321-330. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=58231409>
- . (2008b). El suicidio y algunos de sus correlatos neurobiológicos. Primera parte. *Salud Mental*, 31(4), 417-425. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sm/v31n5/v31n5a10.pdf>
- IIEG. (2023). <https://iieg.gob.mx/ns/wp-content/uploads/2023/09/D%C3%A-DaPrevenci%C3%B3nSuicidio2023.pdf>
- INEGI. (2023). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2023/eap_suicidio23.pdf
- Organización Panamericana de la Salud. (2023). *Informe mundial sobre la salud mental: Transformar la salud mental para todos*. Washington, DC: OPS. Disponible en: <https://doi.org/10.37774/9789275327715>
- Pandey, G. N., Pandey, S. C., Ren, X., Dwivedi, Y., & Janicak, P. G. (2003). Serotonin receptors in platelets of bipolar and schizoaffective patients: Effect of lithium treatment. *Psychopharmacology*, 170, 115-123. doi: 10.1007/s00213-003-1530-y

- Rizk, M. M., Herzog, S., Dugad, S., & Stanley, B. (2021). Suicide risk and addiction: The impact of alcohol and opioid use disorders. *Current Addiction Reports*, 8, 194-207.
- Rodrigues, C. Y. D. S., Peña, J. L. O., & de Figueiredo, P. A. C. (2019). Descripción anatómo-funcional de un suicidio por consumo adictivo de inhalables, estudio de caso post-mortem. *Revista Internacional de Investigación en Adicciones*, 5(2), 38-47. <https://www.riiad.org/index.php/riiad/article/view/riiad.2019.2.05/279>
- Santillán, C. (2019). ¿Cómo podemos prevenir el suicidio? *Redes. Revista de Divulgación, Crisis y Retos en la Familia y Pareja*, 21, 55-59. <https://doi.org/10.22402/j.redes.unam.1.2.2019.242.56-60>
- Santillán Torres, C., Chávez Valencia E., García Gutiérrez, H., Meza Escobar, A., Flores Rosas O. A., y Valle Saldaña, S. (2019). Atención de emergencias psicológicas a estudiantes de las carreras de salud en la UNAM FESI. *Simplemente quería desaparecer: Aproximaciones a la conducta suicida de adolescentes en México* (pp. 171-182). Instituto Nacional de Salud Pública. https://www.insp.mx/resources/images/stories/2019/Docs/190731_Conducta_suicida.pdf
- Santillán Torres, C., Suárez Ortiz, J. (2023, noviembre-diciembre). Entrenamiento en Guardianes para la prevención del suicidio en estudiantes. *Revista Digital Universitaria*, 24(6), 1-13. https://www.revista.unam.mx/wp-content/uploads/v24_n6_a6.pdf
- Terrazas, B. (2019, 19 de septiembre). Algunos datos interesantes del cerebro. *UNAM Global Revista*. https://unamglobal.unam.mx/global_revista/algunos-datos-interesantes-del-cerebro/
- Valdez-Santiago, R., Hernández, A. V., Arenas-Monreal, L., Benjet, C., & García, A. V. (2023). Conducta suicida en México: Análisis comparativo entre población adolescente y adulta. *Salud Pública de México*, 65, s110-s116. <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanutcontinua2022/doctos/analiticos/15-conducta-suicida-ensanut2022-14815-72580-2-10-20230619.pdf>
- Van Heeringen, K., & Mann, J. J. (2014). The neurobiology of suicide. *The Lancet Psychiatry*, 1(1), 63-72.
- Wisłowska-Stanek, A., Kołosowska, K., & Maciejak, P. (2021). Neurobiological basis of increased risk for suicidal behaviour. *Cells*, 10(10), 2519. <https://www.mdpi.com/2073-4409/10/10/2519>

¿Cómo es que el Sol, estando tan lejos, es tan importante en nuestras vidas?

ARMANDO PÉREZ CENTENO*
MIGUEL ÁNGEL SANTANA ARANDA*

Resumen

Se plantea la relevancia del Sol para nuestras vidas, desde la temperatura ambiental en la que nos desenvolvemos, hasta los beneficios tecnológicos que en la actualidad se obtienen mediante procesos físicos. Se mencionan algunas características importantes del Sol y las estrellas en general, así como otros aspectos de nuestro sistema solar. Se aborda la descripción del espectro electromagnético producido por el Sol, las regiones infrarroja, visible y ultravioleta que lo conforman, así como el rol de cada una de éstas, tanto efectos positivos como cuidados que se deben tener. Finalmente, se describen aplicaciones como la fotocátalisis y las celdas solares, dispositivos que se busca perfeccionar para mejorar la porción aprovechable de la radiación que recibimos del Sol.

El Sol y las otras estrellas

Seguramente alguna vez has escuchado que el Sol es una estrella, al igual que las muchas que vemos cada noche cuando miramos al cielo. Podría decirse que el Sol es *nuestra estrella*, alrededor de la cual

* Departamento de Física, Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías, Universidad de Guadalajara.

se mueve nuestro planeta —la Tierra—, al igual que otros siete planetas: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano y Neptuno. La Luna es un satélite natural que orbita alrededor de la Tierra, y con excepción de Mercurio y Venus, los otros planetas del sistema solar también tienen satélites naturales, más de uno. Así, como lo estás imaginando, el Sol no es la única estrella que tiene planetas orbitando a su alrededor, algunos de ellos con sus satélites naturales. Es importante tener en cuenta que hay dos características que marcan la diferencia entre la Tierra y otros planetas, de nuestro sistema y de otros sistemas planetarios: la distancia que nuestro planeta guarda con su estrella y la mezcla de gases que conforman su atmósfera. Ésta es una combinación fortuita de características, que resulta fundamental en nuestro planeta para la existencia de vida como la conocemos.

El Sol, al igual que otras estrellas, está compuesto en su mayoría por hidrógeno y helio, y en su interior ocurren importantes reacciones nucleares que involucran temperaturas muy altas, tal que su superficie tiene una temperatura superior a los 5,500° C. Nosotros conocemos este valor de temperatura derivado del concepto de *radiación del cuerpo negro*, que plantea el espectro de emisión de radiación electromagnética de un objeto dependiendo de su temperatura. Esta emisión del Sol es la que ilumina buena parte de nuestros días, e ilumina la superficie de la Luna, que vemos en las noches.

La luz

Desde el punto de vista físico, la luz es una *onda electromagnética*, que en ocasiones vemos como partícula y llamamos fotón. Como sabes, hay luz (fotones) de diferentes colores. Estos distintos fotones se caracterizan por su *energía* o por su *longitud de onda*; cuyos valores están relacionados de forma inversa, cuando uno aumenta, el otro disminuye (véase Figura 1). Siendo más precisos, la luz se trata de un campo eléctrico y un campo magnético que oscilan y se dan vida mutuamente, de ahí que se les nombre “onda electromagnética”. Gracias a este fenómeno de retroalimentación, es la única onda que no requiere de un medio para propagarse, y por eso puede viajar libremente en el espacio interestelar; esto es, en la ausencia de cualquier materia (el vacío). Además, las ondas electromagnéticas se desplazan a una velocidad de aproximadamente 300,000 km/s; es decir, en un segundo podrían dar más de siete vueltas alre-

dedor de la Tierra. Otro dato interesante es que si, por alguna razón, el Sol se “apagara” repentinamente, aún nos llegaría su radiación durante los siguientes 500 segundos (ocho minutos 20 segundos); lo anterior es porque la distancia promedio del Sol a la Tierra es 150'000,000 km. A esta distancia promedio entre el Sol y la Tierra se le conoce como unidad astronómica. En ocasiones, ¿no te dan ganas de estar a una unidad astronómica de alguien?

Esta distancia, aunque impresionantemente larga, no evita que aquí en la Tierra recibamos una importante cantidad de luz emitida por el Sol que, además de participar en la temperatura ambiental de nuestro día a día, proporciona energía a procesos tan importantes en la naturaleza como es la fotosíntesis en las plantas, que no sólo sirve para que ellas crezcan grandes y bonitas, sino que también purifica el aire que respiramos, los humanos y otros seres vivos.

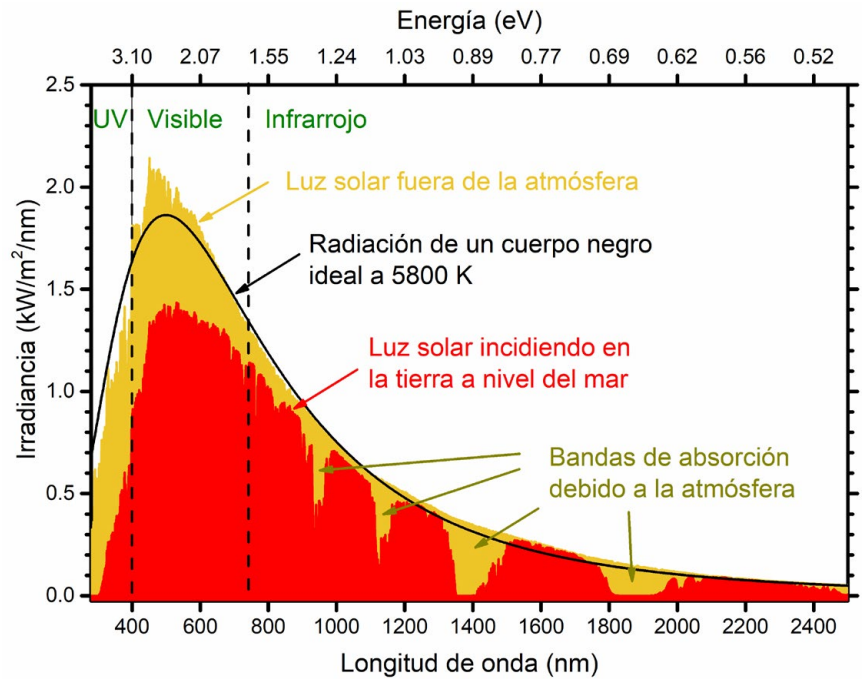
Espectro solar

Al conjunto de fotones que emite el Sol se le conoce como radiación solar, mientras que a la forma en que se distribuye la cantidad de fotones con cada valor de longitud de onda (energía) se le conoce como espectro solar; en la Figura 1 puedes ver una representación gráfica del espectro solar. En amarillo se presenta el espectro solar observado justo antes de entrar a la atmósfera de la tierra, que tiene una forma muy similar al perfil de radiación de cuerpo negro ideal (línea negra) a 5,800 K (5,527° C). ¿Recuerdas que ésta es la forma en que conocemos la temperatura promedio a la que se encuentra la superficie del Sol? Esto también es válido para otras estrellas. Una vez que los fotones provenientes del Sol atraviesan la atmósfera, incluyendo la capa de ozono, el espectro que observamos cambia, debido a que los gases de la atmósfera terrestre absorben fotones de algunos colores específicos, y aunque la alteración del espectro solar que llega a la superficie terrestre depende de la hora y el día del año, así como de la altitud y la latitud en la que nos encontremos (no será lo mismo en la cima del Himalaya, que a nivel del mar como en Puerto Vallarta), en promedio se representa como está ilustrado con color rojo en la Figura 1.

Es importante destacar que la radiación solar se extiende en tres regiones del espectro electromagnético: la del infrarrojo (IR), longitudes de onda mayores a 700 nm (baja energía); la del visible (Vis), alrededor de 400 a 700 nm; y la del ultravioleta (UV), menor a los 400 nm y, por lo tanto, la más energética de

las tres. Un dato curioso que quizá ya te imaginas, es que el ojo humano sólo puede “ver” luz del rango visible, de ahí su nombre, por lo que, si tuviéramos un objeto que emite exclusivamente en las regiones IR y/o UV, no podríamos verlo directamente. ¿Sabías que las cámaras de seguridad iluminan en el IR para poder “ver” en la oscuridad? Por esa razón no nos damos cuenta de que nos están observando. Otro dato curioso: los animales tienen su propio rango de “visible”, por lo que no distinguen los colores como nosotros (Oftalmología Veterinaria [IVO], 2014); esto es parte de la evolución y la teoría de Darwin de la selección natural.

Figura 1. Espectro solar fuera de la atmósfera (amarillo) y sobre el nivel del mar (rojo)



Fuente: elaborado con datos de *Reference Air Mass 1.5 Spectra* (s/f).

Precauciones hacia la radiación solar

Ahora, detengámonos un poco en la región UV del espectro solar, ésta suele subdividirse en dos regiones: UVA, de 400 a 315 nm, y UVB, de 315 a 280 nm, aproximadamente (Miron Rich, 2022). UvB es la más energética, pero a su vez

la más dañina para los seres vivos; afortunadamente, esta radiación es absorbida casi en su totalidad por la atmósfera. Sin embargo, parte de la radiación UVA sí logra llegar hasta la superficie terrestre, y tiene dos roles encontrados: es aprovechada por las plantas para la fotosíntesis, pero también es la causante principal del cáncer de piel. Otro problema de la exposición a la radiación UVA se puede presentar en los ojos, generando enfermedades en ellos, como son el cáncer ocular y las cataratas, entre otras (Turbet David, 2024).

Uno de los componentes más relevantes de los protectores solares que usamos para proteger nuestra piel es un material llamado dióxido de titanio (TiO_2), aunque también los hay con otros materiales como el óxido de zinc (ZnO) y el dióxido de estaño (SnO_2), entre otros. Algo que tienen en común estos tres materiales, es que forman parte de un tipo de materiales llamados semiconductores.

Semiconductores

Los semiconductores son uno de los grandes grupos en que clasificamos los materiales que existen en la Tierra, cuando se hace referencia a sus propiedades de conducción eléctrica; siendo históricamente los conductores, los semiconductores, y los aislantes. Los materiales conductores son aquellos que permiten el movimiento casi libre de los portadores de carga eléctrica, electrones; un ejemplo es el material del que están compuestos los cables que usamos en nuestra vida cotidiana para cargar aparatos electrónicos. Los materiales aislantes son aquellos que se comportan de forma contraria a los conductores, es decir, no permiten la circulación de sus portadores de carga; el vidrio y el plástico son ejemplos de aislantes. Finalmente, los materiales semiconductores son aquellos que se encuentran en un punto medio; es decir, no son suficientemente buenos conductores, pero tampoco se comportan como aislantes; el silicio (Si), el germanio (Ge), y el nitruro de galio (GaN), entre otros, son clasificados como materiales semiconductores. Gran parte del avance tecnológico que existe en nuestra vida actual, como son la Internet, las computadoras, los celulares, las televisiones planas, etc., se debe precisamente al desarrollo de los semiconductores.

Una característica importante en esta clasificación por propiedades de conducción eléctrica, es que para lograr una corriente eléctrica en un conductor se requiere aplicar muy poca energía; porque el material tiene una región con

“espacios” para el movimiento de las cargas. Mientras que en el caso de los semiconductores y los aislantes, se tiene una región completamente saturada (sin “espacios”), que llamamos banda de Valencia (BV), y una región completamente vacía (llena de “espacios”), que llamamos banda de conducción (BC). Estas dos regiones están separadas por una diferencia de energía que coloquialmente llamamos *gap*; en el caso de los aislantes, este valor es relativamente alto, mientras que para los semiconductores este valor de energía cae precisamente entre los valores en que se grafica el espectro de radiación solar (Figura 1). Precisamente, esa energía puede ser suministrada por la radiación solar al incidir sobre estos materiales, haciendo que un electrón se mude de la BV a la BC. Este proceso no sólo proporciona electrones (cargas negativas) para el proceso de conducción, sino que también deja espacios en la BV, que antes estaba saturada, en los que pueden moverse los electrones; a estos espacios disponibles se les conoce como *huecos*, y éstos se comportan como cargas positivas. Entonces, este proceso generado por los fotones, de una energía apropiada, al incidir sobre un semiconductor, generalmente proporciona electrones y huecos que pueden interactuar con su entorno.

¿Cómo aprovechamos la radiación solar que recibimos?

Como cualquier ser vivo, dependemos de ingerir agua potable para subsistir. Sin embargo, de toda el agua disponible en la Tierra, menos del 0.5% es potable, y se encuentra en mantos acuíferos, ríos y lagos (Fundación Aquae, 2021). Desafortunadamente, la humanidad genera grandes cantidades de residuos contaminantes que terminan en estos cuerpos de agua dulce, disminuyendo aún más la disponibilidad de agua potable y creando serios problemas de salud, entre otros. Algunos de estos contaminantes son los colorantes y residuos de fármacos. El problema es más grande de lo que se puede percibir a primera vista, porque también afecta de forma indirecta; por ejemplo, contaminar tierras que a su vez afectan los cultivos, o animales que utilizamos para consumo humano. Aunque existen ya métodos para filtrar y purificar el agua, siempre se busca encontrar métodos más eficientes y económicos, y justo aquí es donde aparecen una vez más los semiconductores.

Como se mencionó en la sección anterior, un semiconductor necesita que le suministren energía para tener portadores de carga disponibles; electrones

en la BC y huecos en la BV. Una forma de suministrar esa energía es haciendo incidir fotones, esos mismos que emite el Sol todo el tiempo. Si el fotón tiene la suficiente energía, igual o mayor que el gap, el electrón puede absorber esa energía y brincar de la BV a la BC. Lo más importante, el material tendría disponibles una carga negativa (electrón) y una carga positiva (hueco) para participar en una reacción química.

Algunas moléculas, como los colorantes, pueden ser degradadas por medio de una reacción química; sin embargo, esta reacción puede llevarse de forma muy lenta. Para solucionar este proceso, se requiere de un agente que acelere la reacción, y a este tipo de agente se le conoce como catalizador. Justo aquí los semiconductores toman una alta relevancia, ya que algunos pueden utilizarse como agentes catalizadores. En el caso particular de degradar colorantes, según sea el caso, necesitan de ese electrón o hueco disponible para acelerar la reacción química. Como hemos visto, esto podría lograrse si el semiconductor catalizador absorbe luz, y en ese momento se le clasifica como fotocatalizador.

Entonces, una vez más la energía que recibimos del Sol puede ayudarnos, en este caso para limpiar nuestras aguas de residuos contaminantes como los colorantes, utilizando semiconductores apropiados. El primer semiconductor en demostrar su efecto fotocatalítico con estos fines, es el dióxido de titanio (TiO_2) (Hashimoto *et al.*, 2005); incluso, ha sido un semiconductor de referencia para compararlo con nuevos materiales. Si bien es cierto que el TiO_2 es altamente eficiente, su limitante es que su gap es de 3.2 eV, es decir que vive en el UV, por lo que sólo aprovecha una diminuta parte de todo el espectro solar disponible. Por esa razón, se investigan semiconductores o arreglos de semiconductores que puedan aprovechar una mayor parte del espectro solar.

Otro de los problemas serios de contaminación ambiental donde el Sol junto con los materiales semiconductores salen a nuestro auxilio, es el de la demanda energética global. Como habrás observado, en este texto y pensando en tu vida diaria, se requiere de energía para todas las actividades humanas; poder iluminar dentro de lugares cerrados, desplazarnos de la casa a la escuela o al trabajo, el funcionamiento de las máquinas para la elaboración de cualquier producto, y desde luego para navegar por la Internet desde nuestros dispositivos electrónicos. Desafortunadamente mucha de la energía eléctrica que utilizamos para éstas y otras tantas actividades, se produce usando métodos contaminantes;

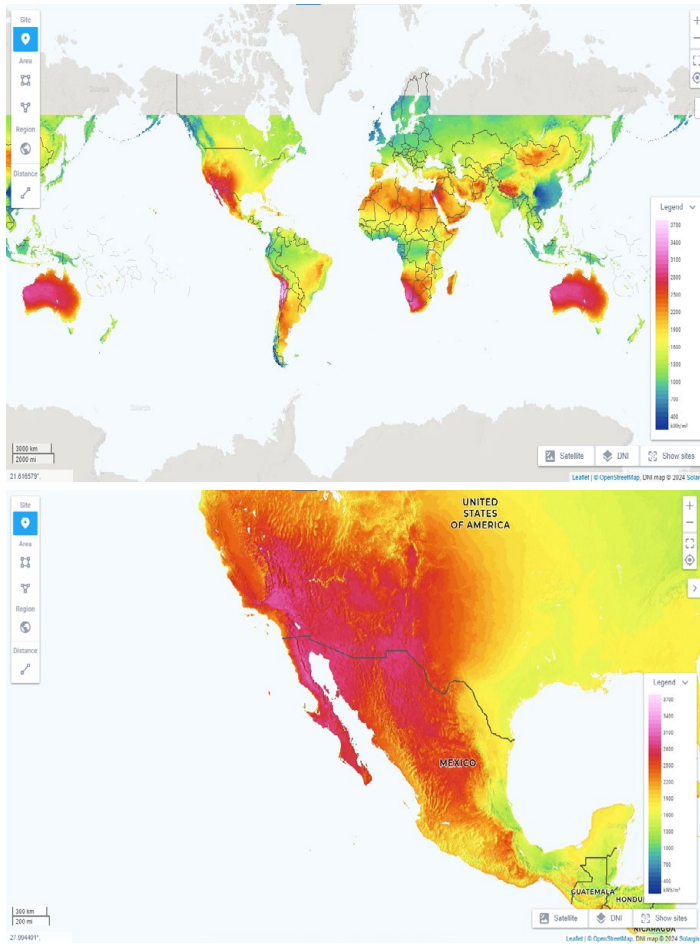
como son la quema de carbón o petróleo. Para contrarrestar esta situación es que se han desarrollado desde hace décadas las celdas solares, de forma que la electricidad que requerimos sea producida con la menor contaminación posible. Sin embargo, éstas todavía tienen sus puntos débiles, como son una eficiencia limitada en la conversión de la energía solar que reciben, algunos tipos de celda solar se fabrican con materiales escasos y costosos, o incluso el procesamiento de algunos de los materiales generan otros tipos de contaminación que terminan cancelando el efecto positivo que se busca tener con el uso de las celdas solares.

Por ello es importante el trabajo de los investigadores en todo el mundo, buscando enfocarse en el uso de materiales abundantes, y cuya obtención, procesamiento y uso no sean tóxicos y resulten amigables con el medio ambiente; a la vez que se busca aprovechar la mayor porción de energía respecto de la que se recibe desde el Sol.

¿Qué tanta radiación solar incide en el territorio nacional?

En la Figura 2 puedes ver un mapeo de la cantidad de radiación solar promedio que incide en los diferentes lugares del planeta cada año, así como una ampliación del territorio nacional; como puedes ver junto a la ampliación de México, los tonos más rojos implican una mayor incidencia de radiación solar, mientras que los tonos azules, pasando por el amarillo y el verde, implican una menor cantidad de radiación en incidencia directa. Es importante mencionar que la radiación que se recibe y puede aprovecharse, incluye no sólo la de incidencia directa, sino también aquella que llega de forma indirecta, por ejemplo, por reflexión en diferentes objetos, como las nubes, la vegetación, etc. (*Definiciones*, 2024). En términos generales, es fácil identificar que nuestro país se encuentra entre los que reciben una mayor cantidad de radiación solar directa. Asimismo, podemos ver que ésta es mayor en el noroeste y que esa región sería un buen lugar para la producción de energía eléctrica, aprovechando la energía que recibimos del Sol.

Figura 2. Mapeo de la cantidad de radiación solar en incidencia directa durante un año, en los diferentes lugares del planeta (superior), y una ampliación de México (inferior)



Fuente: imágenes extraídas desde *Global Solar Atlas* (2024).

Conclusiones

Recapitulando, el Sol es un objeto astronómico que, a pesar de la distancia a la que se encuentra, ha sido vital para la existencia de la vida como la conocemos. Si bien resulta imprescindible, se debe tener cuidado a exposiciones prolongadas, ya que puede tener efectos nocivos en nuestra salud. Por otro lado, su energía puede ser utilizada en procesos que benefician a nuestro medio ambiente y, con

ello, a nuestra calidad de vida; como la producción de energía y tratamientos para la descontaminación del agua.

¿Qué opinas ahora de la importancia del Sol para nuestra vida?

Lecturas recomendadas

- Turbert, David. (2024, mayo 29). *The Sun, uv Light and Your Eyes*. American Academy of Ophthalmology. <https://www.aao.org/eye-health/tips-prevention/sun>
- Fundación Aquae. (2021, diciembre 22). ¿Cuánta agua potable hay en la Tierra? Fundación Aquae. <https://www.fundacionaquae.org/wiki/cantidad-de-agua-potable-fuente-de-vida/>
- Global Solar Atlas. (2024, mayo). *Global Solar Atlas*. <https://globalsolaratlas.info/map?c=11.609193,8.349609,3>
- Hashimoto, K., Irie, H., & Fujishima, A. (2005). TiO₂ Photocatalysis: A Historical Overview and Future Prospects. *Japanese Journal of Applied Physics*, 44(12R), 8269. <https://doi.org/10.1143/jjap.44.8269>
- Miron Rich. (2022, abril 6). *Radiación ultravioleta: Sus atributos y beneficios*. DigiKey. <https://www.digikey.com.mx/es/articles/ultraviolet-radiation-attributes-and-benefits>
- NREL.gov. (s/f). *Reference Air Mass 1.5 Spectra*. Recuperado 21 de julio de 2024, de <https://www.nrel.gov/grid/solar-resource/spectra-am1.5.html>
- Oftalmología Veterinaria (ivo). (2014, septiembre 16). ¿Los animales son capaces de distinguir los colores? ivo Oftalmología Veterinaria. <https://ivoft.com/blog/los-animales-son-capaces-de-distinguir-los-colores/>
- Solar Anywhere. (2024, julio 20). *Definiciones*. <https://www.solaranywhere.com/es/support/data-fields/definitions/>

De lo cotidiano a lo fisiológico: el envejecimiento

ROCÍO DEL CARMEN MONTOYA PÉREZ*
MARIANA GÓMEZ BARROSO**

Resumen

En el presente capítulo se abordarán procesos relacionados con el paso del tiempo, lo que en pocas palabras se conoce como envejecimiento. Este término abarca un sinnúmero de procesos y sería imposible abordarlos en unas cuantas líneas o en este breve capítulo, por lo que nos centraremos en los procesos que con el paso del tiempo se van volviendo cada vez más evidentes y más cuando hacemos una comparación con un individuo joven. Así pues, el abordaje será en el sentido de explicar algo que pasa todos los días de una manera fisiológica en algunos tipos de tejido.

Introducción

Sabemos que todos los seres vivos nacen, crecen, se reproducen y mueren. Así de natural como es el proceso, se han identificado rasgos de los individuos al paso del tiempo según su edad. En los seres humanos uno de los rasgos más visibles es la flacidez de la piel,

* Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

** Universidad Cuauhtémoc plantel Querétaro, A. C.

la disminución de la estatura y la presencia de canas, entre muchos otros por supuesto, pero en esta ocasión nos centraremos en lo mencionado anteriormente.

La piel

Abordaremos la piel y su envejecimiento. Pero primero describamos un poco sobre lo que es la piel. Es el órgano más grande del cuerpo de los animales; derivado y adosado de este órgano encontramos pelo, uñas, picos y cornamentas, así como glándulas sebáceas y sudoríparas; a lo que en conjunto se le llama sistema tegumentario. En el caso de los humanos el sistema se encuentra cubierto por un pelo fino en la mayoría del cuerpo con abundante pelo sólo en algunas zonas del cuerpo, teniendo abundante presencia de folículos capilares en la cabeza y ninguno en las palmas de las manos y pies; de eso hablaremos más adelante en el apartado del cabello.

Las principales funciones de la piel son la protección contra el clima, la regulación de la temperatura, el almacenamiento de agua y grasa y la protección contra enfermedades. La piel posee varias capas con funciones particulares: epidermis, dermis e hipodermis, de lo más externo a lo más interno, respectivamente. En la epidermis se encuentran tres tipos de células: las escamosas, que forman la capa más externa de la dermis que darán origen al estrato córneo (varias capas de células muertas y aplanadas que sirven de protección a la piel); las células basales y los melanocitos (encargados de formar la melanina y dar color a la piel). En la dermis se encuentra abundante colágeno, el cual es una proteína estructural que le confiere flexibilidad y fuerza a la piel. En esta capa se encuentran vasos sanguíneos y linfáticos, así como los folículos capilares, glándulas sudoríparas y sebáceas y por supuesto los nervios que finalizan en receptores al dolor, tacto, movimiento y temperatura. La hipodermis, también conocida como capa de grasa subcutánea, es la parte más profunda de la piel, en ella se encuentra una red intrincada de colágeno y mucopolisacáridos y adipocitos, lo cual protege al cuerpo de la temperatura y los golpes (los absorbe). Esta capa tiene la capacidad de regenerar después de una lesión.

Como es bien sabido, a medida que el organismo va avanzando en edad las capacidades de regeneración y crecimiento van disminuyendo, lo que provoca que la piel vaya perdiendo elasticidad y sensibilidad, además de que se reduce su grosor y pigmentación. El envejecimiento de la piel se da mayoritariamente por la exposición al Sol y más concretamente a los rayos ultravioleta; sin embargo,

es importante considerar si la piel tuvo tendencia actínica (manchas escamosas y oscuras que se forman por la exposición prolongada al Sol). Sin mencionar el adelgazamiento que se produce de forma paulatina durante el tiempo, el cual puede llegar a ser hasta el 15%. En conjunto, éstos se consideran los rasgos más notables del envejecimiento.

Las afectaciones cutáneas más importantes son las que afectan a las células madres contenidas en la piel y sobre las uniones dermoepidérmicas (unión entre dermis y epidermis), donde se da la diferenciación celular y se controla el tráfico de nutrientes en el microambiente. Cuando hay alteraciones en esta zona se registra un constante aplanamiento que reduce la capacidad de regeneración, causando el adelgazamiento de la piel y el aumento a la susceptibilidad de la zona a desarrollar ampollas y abultamientos. Se ha estado hablando de diferenciación de las células madres, las células en las que se transforman son en los queratinocitos, los cuales, como su nombre lo dice, son los encargados de producir queratina, una proteína que forma las capas externas de la epidermis y confiere protección a toda la estructura.

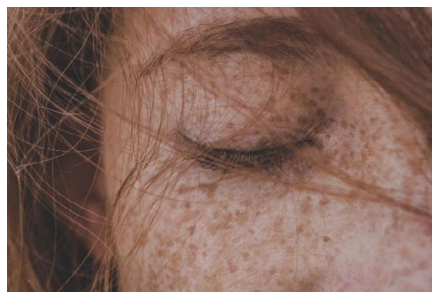
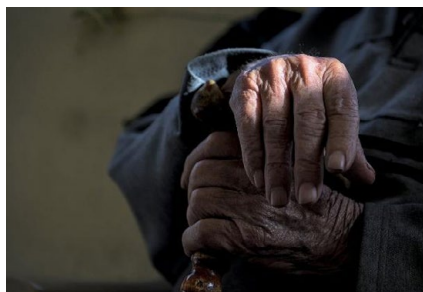
Las células, una vez diferenciadas tienen capacidad de duplicación limitada, en donde, cuando se llega a la senescencia las células entran a la fase refractaria del ciclo celular y dejan de dividirse. En este punto la célula tiende a perder su capacidad de regeneración. Por lo que el estrés oxidante cada vez causa más daño sin que éste pueda ser reparado. Recordemos que el daño oxidante se debe a la presencia de radicales libres, los cuales son una especie química que tiene uno o dos electrones desapareados y que son en general altamente inestables. Los radicales libres tienden a insertar ese electrón libre en las diferentes biomoléculas (ADN, lípidos, proteínas y carbohidratos), causándoles daño, lo que eventualmente disminuirá el funcionamiento celular y la reducción en el número de mitocondrias. Es justo eso lo que se conoce como envejecimiento. Es importante mencionar que si el daño oxidativo persiste (acumulación), se puede llegar a desarrollar neoplasias e incluso cáncer.

Aunado a esto, también se ha documentado la disminución de la actividad en las células de Langerhans, las cuales son el componente inmunológico de la piel, lo que predispone al desarrollo de neoplasias, la formación de efélides o pecas, los léntigos solares (manchas marrones aplanadas), los nevus (lunares) y la queratosis actínica (zona elevada y áspera de la piel). Hasta el momento se ha hablado de la exposición al Sol como la fuente principal del envejecimiento

de la piel; sin embargo, existen factores ambientales que también aportan significativamente, como la contaminación del aire, el tabaquismo, la alimentación y el estrés.

Así pues, cuando se tiene una edad avanzada y se ha estado expuesto a todos los factores antes mencionados, será evidente nuestra edad en la piel. Las recomendaciones para el cuidado de la piel son claras y muy básicas... evitar lo más posible la exposición al Sol en las horas de mayor radiación solar (de 11 a 17 h), usar bloqueador solar cada 4 h, usar sombrero o sombrilla, y aunque parezca vanidad, utilizar cremas humectantes y despigmentantes, por supuesto, prescritas por un(a) dermatólogo(a).

Figuras 1 y 2



El cabello

Ahora hablemos un poco sobre el cabello: éste es un filamento, se encuentra constituido por queratina que a su vez forma una estructura denominada folículo piloso, el cual sobresale por encima de la epidermis. Su base se encuentra vascularizada, lo que permite que durante su crecimiento reciba todos los nutrientes necesarios para su desarrollo. Tenemos pelo en la gran mayoría del cuerpo; sin embargo, hay zonas de mayor abundancia, como en la cabeza, donde podemos llegar a tener hasta alrededor de un millón de cabellos. Normalmente la coloración del cabello es la misma que de la piel, pero su despigmentación puede llegar a darse por un gran número de razones, algunas de las cuales trataremos más adelante.

El cabello puede ser completamente liso o sumamente rizado, con una amplia gama de ondulados y “chinos”. Esta ondulación del cabello se debe a la estructura de sus proteínas, en este caso las de mayor abundancia. La queratina,

la cual le confiere elasticidad, brillo y textura. Debido a la cantidad de puentes disulfuro dentro de la proteína es que el cabello se riza; a menor cantidad más lacio se encuentra. Ésta es la razón por la que con el calor (planchas y secadores de cabello) se pierden los rizos y cuando se humedece de nuevo el cabello, éstos reaparecen.

La coloración de cabello (o pelo), la piel, el iris, la médula suprarrenal y algunas partes del cerebro son consecuencia de la presencia de melanina, la cual es una sustancia que se deriva el aminoácido tirosina, y en donde a través de una secuencia de oxidaciones que llevan a la formación de dihidroxifenilalanina (DOPA) y ésta a su vez forma dopaquinona y que eventualmente dará origen a los dos tipos de melanina: la eumelanina y la feomelanina; la primera, por contener gran cantidad azufre tiene un color marrón o pardo, mientras que la segunda al contener menor contenido de azufre es de color amarillo o rojo y produce una coloración más clara. Entonces, las cantidades de estos pigmentos determinan la coloración de varias estructuras del cuerpo, aunque también se le han atribuido otras funciones en el organismo, como en el sistema inmune y como sistema antioxidante, además de determinar la agudeza visual en las personas que presentan albinismo.

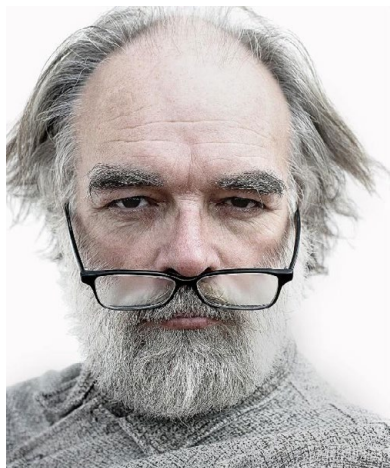
Se han documentado varias de las razones por las cuales el cabello cambia de coloración; sin embargo, la mayoría de éstas al parecer están relacionadas con el estrés. Se dice que a María Antonieta de Austria (reina consorte de Francia durante el reinado de Luis XVI) se le volvió la cabeza completamente blanca la noche anterior a ser decapitada, y aunque esto suena muy difícil de creer y seguramente no es cierto, esta historia permitió darle el nombre al síndrome con este nombre. Otras de las razones que se han documentado que hacen que el cabello cambie de su coloración son el tener una dieta deficiente, el vitíligo y la alopecia areata (pérdida de cabello en parches del cuero cabelludo u otras partes del cuerpo, en personas sin ninguna afección aparente).

Figura 3



Dentro de lo que se ha documentado sobre el estrés sobresale la presencia de corticosterona, la cual es un glucocorticoide que tiene funciones en la regulación de los carbohidratos y en segundo plano con el metabolismo de grasas y proteínas. En conjunto, el cortisol y la cortisona poseen una importante actividad inmunosupresora. Además, están involucradas en la función de los melanocitos, que son las células encargadas de la secreción de melanina. La melanina cumple importantes funciones en la regulación de los ciclos circadianos en los mamíferos, concretamente en los estados de sueño-vigilia; así, podemos ver que hay animales que en verano tienen el pelo oscuro y durante el invierno se vuelve blanquecino. Por otro lado, cuando el estrés es causado por la falta de sueño, también se ha relacionado con el cambio en la coloración del cabello. Lo que

Figura 4



seguramente le pasó a María Antonieta al no pegar el ojo por varias noches previas a su ejecución.

Este proceso es irreversible y es progresivo con la edad, por lo que socialmente el que un individuo presente el cabello gris o blanco indica que hay que mostrar respeto y deferencia, tal vez sea porque se considera que el individuo ha estado expuesto a cierto nivel de estrés y que esta experiencia le permite ser considerado como alguien que es una autoridad en el núcleo social.

Reducción de la estatura

Como ya lo mencionamos al inicio del presente capítulo, el cuerpo humano está constituido de muchos tipos celulares, los cuales se encuentran altamente especializados, sabemos que los tejidos y órganos que nos proporcionan movimiento y postura son el tejido óseo y el músculo esquelético. Abordemos algunas generalidades del tejido muscular esquelético primero.

Las células musculares son muy diferentes a todas las células del cuerpo. En la mayoría de los libros podemos ver los ejemplos e ilustraciones de las células animales generalmente muy redonditas, con los orgánulos celulares dentro de ellas también muy redonditos y contaditos, es decir, un núcleo, el

retículo endoplásmico liso y el rugoso, el aparato de Golgi, los lisosomas, las mitocondrias, etc. Pero esas ilustraciones de una célula animal en general, no podrían estar más lejos de la realidad en el caso del músculo esquelético. Para empezar, el concepto de una célula muscular es complejo, durante el desarrollo embrionario los mioblastos los cuales eventualmente se diferenciarán en miocitos (en este punto, si... una sola célula), se van fusionando unos con otros para formar miofibrillas, de tal manera que se forman células cilíndricas alargadas con una gran cantidad de núcleos, por lo que a esa estructura se le conoce como sincitio (célula multinucleada). Una vez formadas las miofibrillas, éstas se van uniendo para formar fascículos musculares, los cuales a su vez formarán los músculos. Estas estructuras pueden llegar a ser muy largas y robustas, lo que nos permite mantenernos de pie y al mismo tiempo desplazarnos; por supuesto el músculo está unido al esqueleto, por lo que también recibe su nombre: músculo esquelético.

Brevemente mencionaremos que hay otros tipos de músculo, como el cardíaco que, por supuesto es exclusivo del corazón; y el músculo liso, el cual se encuentra recubriendo el interior del sistema circulatorio y del sistema digestivo. El funcionamiento del músculo cardíaco funciona algo parecido al músculo esquelético, pero tiene sus características propias. El músculo liso tiene un funcionamiento totalmente diferente y con muchas más particularidades. Ambos tipos de músculo expuestos aquí claro que tienen que ver con el funcionamiento del músculo esquelético, tendríamos que escribir un tratado completo al respecto, por lo que dejaremos para otro libro.

Hay otros sistemas que están involucrados por supuesto, no hay que perder de vista que el control del movimiento y la postura, al igual que todas las funciones corporales están reguladas por el sistema nervioso y del cual no se abordará mucho en este momento, sólo lo indispensable para conocer sobre el músculo esquelético. Al igual que el músculo, las neuronas son células sumamente especializadas que se encuentran unidas al músculo en una estructura conocida como unión neuromuscular o placa motora. Para que una neurona libere la sustancia necesaria para que el músculo tenga una respuesta, se necesita un proceso de intercambio de iones (sodio, potasio y cloro) a través de la membrana celular, a este intercambio momentáneo de iones se le conoce como potencial de acción. El interior de la neurona tiene una carga negativa normalmente, la cual se invierte momentáneamente (de 1 a 5 ms), esta inversión momentánea

recorre todo el largo de la neurona hasta llegar a los botones sinápticos, donde permitirá la entrada de calcio, el cual es el ion que permite la liberación del neurotransmisor. Este neurotransmisor se une a un receptor de la membrana del músculo, permitiendo la entrada de iones de Na^+ provocando un segundo potencial de acción (potencial de acción postsináptico). Este potencial de acción se acoplará con el proceso de contracción. El cambio en el voltaje de la membrana permitirá la entrada de Ca^{2+} , el cual se acoplará a las proteínas contráctiles para permitir la contracción del músculo; es importante mencionar que este proceso requiere de energía en forma de adenosina trifosfato (ATP), sustancia a la que se le considera la moneda energética de la célula. Hasta aquí hemos hablado brevemente del funcionamiento muscular, que en párrafos más adelante compaginaremos su acoplamiento con el sistema óseo.

Un dato muy importante del envejecimiento de músculo es el siguiente: al igual que muchas de las células del sistema nervioso, éste tampoco tiene capacidad de duplicación o es muy limitada, es decir, durante el desarrollo embrionario se forman todos nuestros músculos, los cuales nos acompañarán durante los primeros 21 ó 22 años de nuestra vida; en ese momento los músculos comienzan a atrofiarse y perderse, la única forma de mantener el volumen muscular es a través del ejercicio de fuerza y por supuesto manteniendo una alimentación balanceada. Es necesario decir que el sedentarismo es el peor enemigo del músculo y por consiguiente su disfunción y atrofia.

Durante el proceso de envejecimiento del músculo se produce una pérdida gradual del contenido proteico, recordemos que el músculo pierde casi por completo su capacidad de regeneración; cuando este proceso se incrementa debido a la edad se le denomina sarcopenia, lo que ocasiona la pérdida de fuerza y por lo tanto también de la función. Dentro de este proceso se le puede sumar atrofia e infiltración de grasa, procesos que causan deterioro de manera particular; en el caso de la infiltración de grasa, ésta va tomando el lugar del músculo que se va perdiendo, afectando el funcionamiento del músculo restante.

Hablemos entonces de la unión del músculo con los huesos, describamos brevemente los tendones. Son estructuras de tejido conectivo, del cual su origen es mesenquimal en el desarrollo embrionario, sirven de conexión, soporte y separación entre los otros tipos de células. En el caso de músculo hay tejido de esta naturaleza recubriendo pequeñas porciones de fibras o miofibrillas, lo mismo que el músculo completo, de esta manera se genera una estructura que

resistirá la fuerza desarrollada por el músculo y que al mismo tiempo le dará flexibilidad y amortiguamiento.

Como ya se mencionó, se le dice músculo esquelético porque se encuentra unido a los huesos mediante tejido conectivo. Ahora hablemos un poco de los huesos: en primera instancia todos podemos creer que los huesos siempre son duros; sin embargo, existen diferentes tipos del mismo: el hueso compacto, que efectivamente es de naturaleza rígida y dentro del mismo tenemos el segundo tipo que es más bien poroso y así se le llama, y finalmente, el tejido subcondral que comprende el tejido subarticular mineralizado, que va desde la unión entre el cartílago calcificado y no calcificado y hasta el inicio de la médula ósea. Este tejido da soporte al cartílago articular, distribuyendo la carga mecánica del hueso, así, absorbe la tensión de los impactos mecánicos continuos y nutre las capas profundas del cartílago hialino (de protección), especialmente en el periodo de crecimiento.

El cuerpo humano posee 206 huesos, que se clasifican en 80 huesos axiales y 126 perpendiculares. Dentro de los axiales, se incluyen los huesos de la cabeza, los faciales, los huesos auditivos, los huesos del tronco, las costillas y el esternón, y dentro de los perpendiculares encontramos los de todas las extremidades.

Los huesos nos dan la forma del cuerpo y protección para algunos de nuestros órganos y tejidos más importantes, como es el caso de los órganos protegidos por la caja torácica y el mismo cerebro. Y como ya se había mencionado anteriormente, también nos permiten el movimiento al estar unidos al músculo esquelético.

Uno de los procesos que conlleva el envejecimiento del hueso es la osteoporosis.

Figura 5



sis, la cual es un trastorno esquelético crónico caracterizado por una disminución de la masa ósea y un deterioro micro arquitectónico del tejido óseo (debido a su desmineralización), lo que resulta en una mayor fragilidad ósea y un mayor riesgo de fracturas. Aunado a la osteoporosis, otro factor determinante en la falta de movilidad e independencia es la sarcopenia, que ya se definió previamente. En conjunto se les ha denominado osteosarcopenia.

En el sistema músculo-esquelético en particular, la edad se manifiesta en una reducción de la masa ósea y daño microestructural. En la sarcopenia, donde la masa muscular y la función disminuyen con la edad, la inflamación relacionada con la edad es un factor patogénico importante (nos hace susceptibles a otras enfermedades, como las del síndrome metabólico). Además, contribuye a la degeneración de los discos intervertebrales, la osteoporosis senil y la artritis y los trastornos tendinosos causados por el envejecimiento de los tendones. Uno de los procesos más importantes relacionados con la salud del músculo es la atrofia, la cual se manifiesta como la pérdida de proteínas contráctiles, dicho proceso es causado primariamente por la falta de actividad física y una mala alimentación, esto contribuye a que la postura se modifique y se tienda a encorvarse. Después de los 40 años se pierde aproximadamente 1 cm cada 10 años, siendo más evidente a partir de los 70 años, cuando se puede llegar a perder hasta 7.5 cm por década.

Hemos hablado hasta el momento de los diferentes componentes de cuerpo que se escogieron como análisis para detallar el proceso de envejecimiento, que son en apariencia notables; sin embargo, todos los tipos de células y tejidos comparten entonces el proceso de senescencia, el cual no es otra cosa que el efecto del estrés oxidante sobre el arresto irreversible del ciclo celular y el cese de la proliferación celular, que eventualmente lleva a las enfermedades degenerativas. En la actualidad se cree que este proceso de senescencia es un mecanismo de autoprotección de las células adoptado en condiciones de daño a su ADN, la corta longitud de sus telómeros, activación de oncogenes, cambios epigenéticos y estrés oxidante, y del inicio de procesos inflamatorios (secreción de citocinas y quimiocinas). Cuando la senescencia es aguda, permite mantener la homeostasis del cuerpo, ya que su contraparte es la secreción de factores de crecimiento, secreción de insulina y antioxidantes. El punto crítico es cuando la senescencia se vuelve crónica. Es cuando los procesos inevitablemente se inclinan hacia un lado de la balanza.

Conclusión

Entonces, el cuerpo se encuentra a cada momento y cada segundo tratando de mantener su homeostasis, que no es más que el equilibrio entre los procesos catabólicos y anabólicos, y eso justo es parte de la vida. En este capítulo se explicó brevemente el porqué nuestra piel cambia, nuestro pelo pierde color y el porqué de la pérdida de la estatura. Todos estos procesos son inevitables, pero si tomamos conciencia de cómo vivimos, tal vez podamos mejorar nuestro proceso de senescencia y mejorar nuestra calidad de vida.

Figura 6



Lecturas recomendadas

- Bertazzo, A., Biasiolo, M., Costa, C. V., Cardin de Stefani, E., y Allegri, G. (2000). Tryptophan in human hair: Correlation with pigmentation. *Farmaco*, 55(8), 521-525, agosto. doi: 10.1016/s0014-827x(00)00038-0.
- Castañeda-Sanza, S., y Herrero-Beaumont, G. (2005). El hueso subcondral y el tejido sinovial como diana terapéutica en la artrosis. *Rev Esp Reumatol.*, 32(1), 42-47.
- Chen, Y., Lin, J., Chen, J., Huang, C., Zhang, Z., Wang, J., Wang, K., y Wang, X. (2020). Mfn2 is involved in intervertebral disc degeneration through autophagy modulation. *Osteoarthritis Cartilage*, 28(3), 363-374, marzo. doi: 10.1016/j.joca.2019.12.009.

- Clark, S. A., y Deppmann, C. D. (2020). How the stress of fight or flight turns hair white. *Nature*, 577(7792), 623-624, enero. doi: 10.1038/d41586-019-03949-8.
- Dettenborn, L., Tietze, A., Kirschbaum, C., y Stalder, T. (2012). The assessment of cortisol in human hair: Associations with sociodemographic variables and potential confounders. *Stress*, 15(6), 578-588, noviembre. doi: 10.3109/10253890.2012.654479.
- Gielen, E., Dupont, J., Dejaeger, M., y Laurent, M. R. (2023). Sarcopenia, osteoporosis and frailty. *Metabolism*, 145, 155638. doi: 10.1016/j.metabol.2023.155638.
- Li, C. W., Yu, K., Shyh-Chang, N., Li, G. X., Jiang, L. J., Yu, S. L., Xu, L. Y., Liu, R. J., Guo, Z. J., Xie, H. Y., Li, R. R., Ying, J., Li, K., y Li, D. J. (2019). Circulating factors associated with sarcopenia during ageing and after intensive lifestyle intervention. *J Cachexia Sarcopenia Muscle*, 10(3), 586-600, junio. doi: 10.1002/jcsm.12417.
- Muñoz-Espín, D., y Serrano, M. (2014). Cellular senescence: From physiology to pathology. *Nat Rev Mol Cell Biol*, 15, 482-496. doi: 10.1038/nrm3823.
- Oliver, M. A., Marti, M., Coderch, L., Carrer, V., Kreuzer, M., y Barba, C. (2019). Lipid losses and barrier function modifications of the brown-to-white hair transition. *Skin Res Technol.*, 25(4), 517-525. doi: 10.1111/srt.12681.
- Shah, K., Villareal, y D. T. (2017). Obesity. En: Fillit, H. M., Rockwood, K., y Young, J. (Eds.), *Brocklehurst's Textbook of Geriatric Medicine and Gerontology*. (8ª edición). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Sinclair, R. D. (2007). Healthy hair: What is it? *J Investig Dermatol Symp Proc.*, 12(2), 2-5. doi: 10.1038/sj.jidsymp.5650046.
- Walston, J. D. (2024). Common clinical sequelae of aging. En: Goldman, L., y Cooney, K. A. (Eds.), *Goldman-Cecil Medicine*. (27ª edición). Philadelphia, PA: Elsevier.
- Zhang, B., Ma, S., Rachmin, I., He, M., Baral, P., Choi, S., Gonçalves, W. A., Shwartz, Y., Fast, E. M., Su, Y., Zon, L. I., Regev, A., Buenrostro, J. D., Cunha, T. M., Chiu, I. M., Fisher, D. E., y Hsu, Y. C. (2020). Hyperactivation of sympathetic nerves drives depletion of melanocyte stem cells. *Nature*, 577(7792), 676-681, enero. doi: 10.1038/s41586-020-1935-3.
- Zhang, H., Gu, W., Wu, G., y Yu, Y. (2024). Aging and Autophagy: Roles in Musculoskeletal System Injury. *Aging Dis.*, 7, junio. doi: 10.14336/AD.2024.0362.
- Zhang, Y., Liu, L., Qi, Y., Lou, J., Chen, Y., Liu, C., Li, H., Chang, X., Hu, Z., Li, Y., Zhang, Y., Feng, C., Zhou, Y., Zhai, Y., y Li. C. (2024). Lactic acid

promotes nucleus pulposus cell senescence and corresponding intervertebral disc degeneration via interacting with Akt. *Cell Mol Life Sci.*, 12;81(1), 24, enero. doi: 10.1007/s00018-023-05094-y.

Páginas web consultadas

Recuperado en julio de 2024: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomy-of-the-bone-85P03232#:~:text=Un%20hueso%20es%20un%20tejido,que%20se%20incluyen%20los%20siguientes%3A&text=Tejido%20compacto.,y%20externo%20de%20los%20huesos>

Recuperado en julio de 2024: <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/cartilago-hialino>

Recuperado en julio de 2024: <https://www.stanfordchildrens.org/es/topic/default?id=anatomy-of-the-skin-85-P04436#:~:text=Es%20un%20%C3%B3rgano%20sensorial,el%20organismo%20y%20el%20entorno>

Recuperado en julio de 2024: <https://www.heraldo.es/noticias/salud/2020/01/22/si-estresarse-produce-canas-un-estudio-de-harvard-lo-confirma-1354740.html>

Recuperado en julio de 2024: <https://web.archive.org/web/20091215080657/http://www.dicciomed.es/php/diccio.php?id=5637#>

El cigarro electrónico: ¿moda o adicción?

JUAN CARLOS ROLÓN DÍAZ*

MARÍA GUADALUPE GONZÁLEZ PÉREZ*

Resumen

Los sistemas de encendido electrónico fueron fabricados por las empresas tabacaleras con el propósito oculto de inducir a los jóvenes al consumo y adicción de nicotina, ya no en la forma tradicional del cigarro, sino de vapor generado por el calentamiento de un líquido contenido en un aparato con diseño atractivo, que pueda convertirse en un rasgo de distinción para los jóvenes, que son el segmento más proclive al consumo del tabaco.

El líquido de los vapeadores contiene derivados químicos como la nicotina, el diacetilo, el propilenglicol, la glicerina vegetal, el benceno y algunos metales pesados como el níquel, el estaño y el plomo, que, de acuerdo con las investigaciones de instancias gubernamentales de la salud como el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos y la Cofepris en México, son generadoras de repercusiones en la salud como la lesión pulmonar asociada al consumo de cigarro electrónico (EVALI), siendo así no sólo el daño a nivel pulmonar sino también a nivel cardiovascular con el aumento del riesgo de aterosclerosis, embolias e infartos, además de alteraciones de la testosterona, formación de caries, desarrollo de diferentes tipos de

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Los Altos.

tumores malignos, mayor riesgo de malformaciones congénitas y retraso de la implantación del embrión en el útero.

Se han emprendido acciones por parte del Poder Ejecutivo para disminuir su compra y venta, con fundamento en los artículos constitucionales 1 y 4 que otorgan y que reconocen el derecho de toda persona a la protección de la salud y a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. Así como el Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, que establece en su artículo 12 que los Estados parte “reconocen el derecho de toda persona al disfrute del más alto nivel posible de salud física y mental” (Cofepris, 2023).

Introducción

La incorporación del cigarro electrónico (dispositivo que calienta líquido para obtener vapor y ser inhalado con diferentes sustancias, alimentado por una batería) en el mercado surgió a partir del año 2007 y desde entonces ha existido un aumento gradual en su consumo, principalmente en jóvenes y adolescentes tras su difusión por medio de redes sociales y la particular creencia de que son “menos perjudiciales” para la salud en comparación con los cigarros convencionales, además de la idea de que no genera adicción.

A partir de su introducción se han realizado diversos estudios sobre su impacto en el organismo humano, demostrando así que el consumo de éstos es perjudicial para el bienestar, teniendo como evidencia la afectación no sólo a nivel de vías respiratorias, sino a nivel cardiovascular, bucal, gastrointestinal, dermatológico, entre otros. Es de relevancia tener en consideración que aún se sigue en investigación y no sabemos por completo todas las repercusiones que pueda generar de forma aguda y/o crónica. De esta manera lo mejor que se recomienda es evitar su consumo.

La diversidad de cigarros electrónicos

Los cigarrillos electrónicos cuentan con una amplia variedad de nombres y tipos de dispositivos electrónicos de liberación de nicotina (DELN), son dispositivos manuales que producen un aerosol creado a partir de una solución de nicotina, compuestos químicos saborizantes, propilenglicol y, a menudo, otros componentes desconocidos y no indicados en la publicidad del producto. Existe una extensa terminología, diseño y tecnología usadas en su fabricación, con

varias denominaciones alternativas, como e-cigs, puros electrónicos, narguiles electrónicos, vaporizadores personales, vapeadores o dispositivos de vapeo. La industria continúa desarrollando nuevos productos, como el dispositivo JUUL, que contiene nicotina pero que puede ser no reconocido como producto de tabaco por los adolescentes. Se ha constatado que los singulares sabores de las soluciones de este tipo de dispositivos, la mayoría de los cuales recuerdan a los de las golosinas y resultan atractivos para los niños, pueden conducir a los jóvenes a la experimentación, el consumo habitual y la adicción (Nelson, 2020).

¿Cuáles son sus principales componentes?

La mayoría de los cigarrillos electrónicos están formados por cuatro elementos:

- Cartucho o receptáculo que contiene una solución líquida (e-líquido o e-jugo) con variadas cantidades de nicotina, saborizantes y otras sustancias químicas perjudiciales y en su gran mayoría no se especifica su contenido en la etiqueta del producto; por mencionar algunas de ellas, se encuentran: dimetil éter, una sustancia altamente inflamable, se usa para quemar verrugas; propionato de etilo, que causa el mal olor del sudor; alcohol bencílico, utilizado en muchos tipos de jabones, cremas y productos de limpieza, el cual no está hecho para inhalarse; acetato de isoamilo, sustancia liberada en el aguijón de las abejas y sirve como un estimulante; linalol, usado como insecticida contra moscas y cucarachas; mentol, actúa directamente en los receptores de nicotina, facilitando su conexión con tus células, lo que vuelve los productos más adictivos; eugenol, empleado para matar a peces en acuarios (Cofepris, 2023).
- Elemento calentador (el vaporizador).
- Fuente de energía (generalmente una pila).
- Boquilla por la cual se inhala (NIDA, 2020).

Situación epidemiológica en México

De acuerdo con la Encuesta Nacional de Consumo de Drogas, Alcohol y Tabaco (Encodat) 2016-2017, Reporte de tabaco, el 5.9% de la población de 12 a 65 años refirió haber probado alguna vez el cigarro electrónico. La prevalencia de consumo actual de cigarro electrónico en dicha encuesta fue del 1.1% (975 mil mexicanos). Además de que la Comisión Coordinadora de Institutos Nacio-

nales de Salud y Hospitales de Alta Especialidad (CCINSHAE) en coordinación con la Comisión Nacional contra las Adicciones, publicó en mayo de 2019 un comunicado que explica que no se ha demostrado la seguridad de los sistemas electrónicos de administración de nicotina (SEAN) y que se carece de información científica que avale la efectividad de dichos dispositivos para dejar de fumar (Conave, 2019).

Redes sociales como influencia de su consumo

En los últimos años los usuarios de las redes sociales han aumentado exponencialmente y a su vez una gran ola de “*influencers*” que crean estrategias de difusión de información, las cuales varían de acuerdo con la imagen personal de su propia marca, contando con un número sustancial de seguidores atraídos por su contenido, percibidos como confiables, cercanos y atractivos, permitiéndoles promover productos y servicios a través de textos escritos, imágenes o videos (FACE, 2021). Son un parteaguas para la difusión de productos que en ocasiones desconocen en su totalidad el contenido, calidad, beneficios y perjuicios sobre todo vinculados a salud a corto y largo plazos.

Se ha demostrado su impacto en una encuesta realizada por investigadores del Instituto Nacional de Salud Pública (INSP). La encuesta abarcó a más de 10,000 adolescentes (con un promedio de edad de 12.4 años) en la Ciudad de México, Guadalajara y Monterrey, y tenía como objetivo conocer la actitud e información existente entre los adolescentes sobre tabaco, alcohol y otros productos relacionados. El cigarro electrónico es el nuevo producto, que resalta por su impacto. Pese a existir en México una prohibición total sobre la promoción y venta del cigarro electrónico, 51% de los jóvenes encuestados reportaron conocerlo. Además 20% dijeron considerarlo menos dañino que el cigarro convencional, reflejando las afirmaciones hechas en sitios (físicos y web) donde se venden estos productos, por lo que se comprueba la idea del gran impacto que tienen los diferentes medios de comunicación, sobre todo las redes sociales, en la noción de los consumidores sobre diversos productos, en este caso los cigarros electrónicos y llegan a convertirse en “tendencia” y moda su utilización por parte de los usuarios, creando una necesidad de compra (INSP, 2020).

“Daño” como los cigarros convencionales?

Tanto el uso de cigarros electrónicos como el de cigarros convencionales plantean riesgos para la salud. El enfoque más seguro es no consumir ni usar ninguno de ellos. Es probable que los niveles de riesgo asociados con el uso de ambos dependan de una serie de factores, algunos de ellos relacionados con los productos utilizados y otros con el usuario individual. Esos factores incluyen el tipo y las características de cada producto, cómo se utilizan, la frecuencia de uso, cómo se fabrican los productos, quién emplea el producto, el comportamiento del usuario (la forma de inhalación) y si las características del producto se manipulan después de la venta.

La toxicidad no es el único factor a la hora de evaluar el riesgo que plantea la exposición a las emisiones para una persona o un grupo de población. Esos factores pueden incluir las posibilidades de abuso o manipulación del producto, el uso por parte de niños y adolescentes que de otro modo no habrían usado cigarrillos, el uso simultáneo con otros productos (uso combinado o policonsumo). El uso doble, que es común, es en última instancia tan peligroso, y probablemente más peligroso, que el consumo sólo de cigarrillos convencionales o el uso sólo de cigarrillos electrónicos. Además, varían en presentación y modelo, y los riesgos para la salud pueden diferir de un producto a otro y de un usuario a otro (OMS, 2024).

¿Son adictivos?

La nicotina, uno de sus principales componentes es altamente adictiva, sus acciones en el cuerpo son complejas e incluyen efectos tanto en el sistema nervioso central como en el periférico. Se clasifica como un estimulante, aunque posee acciones tanto estimulantes como depresoras (Elsevier, 2024).

Un no fumador que usa cigarros electrónicos puede volverse adicto a la nicotina y tener dificultades para dejar de usar este dispositivo, o volverse dependiente de los productos de tabaco convencionales. Además, muchos cigarrillos electrónicos están diseñados para permitir el control de la nicotina (que puede alcanzar niveles altamente peligrosos) (OMS, 2024).

Amenaza activa para la salud el consumo de cigarros electrónicos

Estudios recientes *in vitro* en modelos murinos han examinado los efectos biológicos de los componentes de los cigarrillos electrónicos, centrándose en la capacidad de dañar o matar las células (citotoxicidad), la inflamación, la disfunción de la barrera y la defensa microbiana. Sin embargo, dado el obstáculo que presenta la variabilidad del diseño de los cigarrillos electrónicos, la generalización de estos estudios es limitada. La exposición a los líquidos se asoció con la citotoxicidad de las células madre embrionarias, las cuales son capaces de regenerar o reparar tejido y órganos. Además, una menor viabilidad, un mayor estrés oxidativo, una menor reproducción celular y un mayor daño al ADN.

Los efectos del e-líquido o vapor del e-líquido sobre las células de revestimiento de las vías respiratorias han demostrado un aumento de las respuestas inflamatorias y exacerban la inflamación alérgica después de la exposición, independientemente de la concentración de nicotina y sabor.

Se han utilizado células de revestimiento bronquiales humanas normales, expuestas repetidamente al vapor del cigarrillo electrónico y se demostró una reducción en las células productoras de mucosidad, disminución de la limpieza de las vías respiratorias, aumento de la producción de la glucoproteína mucina 5AC (MUC5AC), la cual tiene implicaciones importantes en la fisiopatología del asma y la EPOC, contribuyendo al aumento de la obstrucción de las vías respiratorias, deterioro de la respuesta innata del sistema inmune y a la hipereactividad inespecífica de las vías respiratorias.

Los cultivos de macrófagos (células de defensa) alveolares mostraron disminuciones significativas en *Streptococcus pneumoniae* internalizado con aumentos significativos concurrentes en *S. pneumoniae* extracelular, lo que indica que la exposición al cigarrillo electrónico afectó la destrucción bacteriana. De manera similar, la supervivencia del *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina (MRSA), cuando se cultivó con macrófagos expuestos al vapor del cigarro electrónico fue más de 350% mayor en comparación con el cultivo con macrófagos de control expuestos sólo al aire. Los efectos adversos también parecen afectar la susceptibilidad a la infección viral.

El análisis de ARN de raspados nasales de usuarios humanos de cigarrillos electrónicos reveló la supresión de significativamente más genes involucra-

dos en la inmunidad innata, en comparación con los fumadores de cigarrillos convencionales. En conjunto, estos datos resaltan el deterioro de las defensas antibacterianas y antivirales que puede ocurrir con el uso del cigarrillo electrónico y enfatizan la necesidad de investigaciones adicionales para determinar si los hallazgos de estos modelos murinos *in vitro* e *in vivo* se pueden trasladar a los humanos (Elsevier, 2020).

Lesión pulmonar asociada al uso de cigarros electrónicos (EVALI)

En usuarios de vapeadores se ha descrito un tipo particular de daño denominado EVALI por sus siglas, lesión pulmonar asociada al uso de cigarros electrónicos. Las personas con esta enfermedad aguda presentan tos seca, dolor torácico y dificultad respiratoria, por lo que tienen que ser hospitalizados con hipoxemia (concentraciones muy bajas de oxígeno en la sangre) que puede progresar a insuficiencia respiratoria aguda. Los casos graves requieren oxígeno suplementario, intubación endotraqueal y ventilación mecánica. Desafortunadamente en algunos se puede presentar la muerte.

En noviembre de 2019, el Centro de Control de Enfermedades de Atlanta, reportó un brote de 2,668 casos de EVALI y 68 muertes confirmadas por esta lesión pulmonar. La edad promedio de estos casos fue de 35 años. En un principio se pensó que el causante había sido el aceite de cannabis que algunos pacientes reportaron haber usado en su vapeador; sin embargo, hubo personas con EVALI que no utilizaron cannabis y se empezó a pensar en el acetato de vitamina E que también se utiliza en los *e-liquid*. Al no haber regulación alguna de los componentes del *e-liquid*, el más afectado es el consumidor pues no sabe qué químicos está inhalando (Cofepris, 2023).

Afectación a nivel bucal

La cavidad oral y sus alrededores son los sitios que están directamente expuestos al aerosol y, en consecuencia, se ha demostrado que existe una asociación entre el uso de cigarrillos electrónicos y el nivel de riesgo de caries de los pacientes. Bajo el impacto del cigarrillo electrónico, el microbioma oral puede alterarse, enriqueciendo la abundancia de patobiontes orales, que hacen que las células epiteliales sean más susceptibles a las infecciones. También se ha demostrado

que el estado periodontal (incluida la condición periimplantaria) de los usuarios de cigarrillos electrónicos es peor que el de los no fumadores. Además, se ha descubierto que varias lesiones de la mucosa oral, como la estomatitis nicotínica, la estomatitis de contacto y la candidiasis, están asociadas al tabaquismo de cigarrillos electrónicos. No sólo los cambios patológicos se han relacionado con el uso de cigarrillos electrónicos, sino también las lesiones traumáticas que resultan de la explosión del cigarrillo electrónico, pueden ser perjudiciales, se tienen reportes de laceraciones en el rostro, pérdida de piezas dentarias y falanges, perforaciones en el paladar y fractura de mandíbula (*Journal of Dental Sciences*, 2024; Cofepris, 2023).

Riesgos en los adolescentes

Los años de la adolescencia son críticos para el desarrollo del cerebro, que continúa creciendo hasta la adultez temprana. Los jóvenes que consumen productos de nicotina en cualquiera de sus formas, incluidos los cigarrillos electrónicos, están especialmente expuestos al riesgo de sufrir efectos duraderos. Como la nicotina afecta el desarrollo del sistema de recompensa del cerebro, el uso continuado de los cigarrillos electrónicos no sólo puede llevar a la adicción a la nicotina, sino que también puede hacer que otras drogas, como la cocaína y la metanfetamina sean más placenteras para el cerebro en desarrollo del adolescente.

La nicotina también afecta el desarrollo de los circuitos cerebrales que controlan la atención y el aprendizaje. Otros riesgos incluyen trastornos emocionales y problemas permanentes para controlar impulsos, es decir, la incapacidad de resistir un deseo fuerte o un impulso que podría causarle daño a la persona o a otros (NIH, 2020).

Otros efectos negativos conocidos

Se tienen evidencias de que los consumidores de estos dispositivos tienen un mayor riesgo de aterosclerosis, así como a tener infartos y embolias. En estudios experimentales se han encontrado alteraciones especialmente en el aparato reproductor masculino (disminución de la masa testicular y alteraciones en la testosterona), así como el desarrollo de diferentes tipos de tumores malignos en el pulmón (adenocarcinomas), piel, peritoneo, intestino y vejiga. Merecen

mención aparte los daños encontrados en el embarazo, mayor riesgo de malformaciones congénitas y retraso de la implantación del embrión en el útero. Esto debemos enfatizarlo porque existe publicidad que “recomienda” a las mujeres embarazadas el uso de estos productos durante el embarazo por ser “menos dañinos” que el cigarrillo de tabaco (Cofepris, 2023).

Acción en el cerebro

Cuando una persona usa un cigarrillo electrónico, la nicotina contenida en el líquido del cigarrillo se absorbe rápidamente en la corriente sanguínea. Una vez en la corriente sanguínea, la nicotina estimula las glándulas suprarrenales para que liberen la hormona epinefrina (adrenalina). La epinefrina estimula el sistema nervioso central y aumenta la presión arterial, el ritmo respiratorio y la frecuencia cardíaca. Como sucede con la mayoría de las sustancias adictivas, la nicotina aumenta los niveles de un mensajero químico en el cerebro llamado dopamina, el cual afecta las áreas del cerebro que controlan la recompensa, es decir, el placer generado por conductas naturales como, por ejemplo, el comer. Estas sensaciones motivan a algunas personas a consumir nicotina repetidamente a pesar de los posibles riesgos para la salud y el bienestar (NIDA, 2020).

Muertes relacionadas con los cigarros electrónicos

La Administración de Alimentos y Medicamentos de Estados Unidos (FDA) ha emitido una alerta pública sobre cientos de informes de enfermedades pulmonares graves relacionadas con el vapeo, incluidas varias muertes. El organismo está trabajando conjuntamente con los Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (CDC) en la investigación de la causa de estas dolencias. Muchos de los productos sospechosos que analizaron las autoridades de la salud en ámbitos estatales y federales han sido identificados como productos de vapeo que contenían THC, el principal ingrediente psicoactivo de la marihuana. Algunos de los pacientes reportaron una mezcla de THC y nicotina, mientras que otros reportaron el vapeo de nicotina solamente. No se ha identificado una misma sustancia en todas las muestras analizadas y no está claro si las enfermedades tienen conexión con un único compuesto. Hasta tanto se conozcan más detalles, las autoridades de la FDA advierten a la población que no consuma productos de vapeo comprados en la calle y no modifique productos comprados en tien-

das. Asimismo, solicitan a los consumidores y los profesionales de la salud que reporten cualquier efecto adverso (NIH, 2020).

¿Existe repercusión al ser fumador pasivo?

Los usuarios “pasivos” pueden verse afectados de forma indirecta por el aerosol residual (debido a los restos de nicotina y de otros compuestos químicos que quedan en las superficies), en el que se han detectado restos de agentes tóxicos, como la propia nicotina, carcinógenos y partículas metálicas. Han aumentado las tasas de intoxicación aguda por nicotina, por exposición involuntaria de niños a la solución contenida en los cigarrillos electrónicos con alto contenido en nicotina. Además, se le suma el hecho de la normalización de las conductas relacionadas con fumar (Nelson, 2020).

¿Qué dice la política pública mexicana acerca de su comercialización?

El 22 de octubre de 2021 se publicó en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) un Decreto que modifica las tarifas de la Ley de los Impuestos Generales de Importación y Exportación, por el que se prohíbe la importación y exportación de los sistemas electrónicos de administración de nicotina (SEAN), sistemas similares sin nicotina (SSSN), sistemas alternativos de consumo de nicotina (SACN), cigarrillos electrónicos y dispositivos vaporizadores con usos similares, así como las soluciones y mezclas utilizadas en dichos sistemas, entre otros. En este Decreto el Ejecutivo federal prohíbe la importación de los productos novedosos, frente al riesgo a la salud que puede provocar en los mexicanos, señala que la prohibición guarda una relación objetiva y lógica con los fines que se pretenden lograr, como son: proteger la salud, tanto de los propios consumidores como de quienes se encuentran cerca y reciben sus emisiones; resulta necesaria, toda vez que estos productos novedosos y emergentes influyen negativamente en el control de la epidemia del tabaquismo; toda vez que dichos productos en el mercado, no sólo contribuyen *de facto* a esa iniciación, sino que la potencializa por la atracción tecnológica que generan en niños y jóvenes, por tanto la opción de su prohibición en el mercado, la más adecuada para alcanzar los fines de protección de la salud.

El 31 de mayo de 2022 se publicó en el DOF un Decreto por el que se prohíbe la circulación y comercialización en el interior de la República, cualquiera que sea su procedencia, de los sistemas electrónicos de administración de nicotina, sistemas similares sin nicotina, sistemas alternativos de consumo de nicotina, cigarrillos electrónicos y dispositivos vaporizadores con usos similares, así como las soluciones y mezclas utilizadas en dichos sistemas, señalando que a quienes comercialicen se les aplicarán las sanciones que señalen las disposiciones jurídicas aplicables. En dicho decreto el Ejecutivo federal establece claramente un posicionamiento institucional frente a los productos novedosos en cuanto a su prohibición, derivado de la obligación del Estado en cuidar el derecho a la salud y proteger el interés superior de la niñez, así como la evidencia científica relacionada con la afectación a la salud de los nuevos productos (Cofepris, 2023).

Conclusión

Ha surgido la necesidad del consumo de cigarros electrónicos a base de engaños publicitarios que por medio de redes sociales se han difundido y aunado a la falta de conocimiento sobre sus efectos perjudiciales para la salud por parte de los consumidores, se sigue cayendo en la falsa idea de que se pueden usar sin que existan efectos negativos en su salud y sobre todo que éstos no son adictivos ni tan “malos” como los cigarros convencionales.

El cigarro electrónico es causante de múltiples daños a sus consumidores, con ejemplos claros: la lesión pulmonar, aumento del riesgo de aterosclerosis, embolias e infartos, alteraciones de la testosterona, disminución de masa testicular, formación de caries, desarrollo de diferentes tipos de tumores malignos en el pulmón, piel, peritoneo, intestino y vejiga, mayor riesgo de malformaciones congénitas y retraso de la implantación del embrión en el útero.

Como parte de la prevención de cualquier afectación a sus consumidores, se recomienda evitar su uso y crear conciencia de la importancia de no dar validez a anuncios generados mediante redes sociales, sino siempre verificar la información en páginas de divulgación científica oficiales y buscar profesionales capacitados en el tema.

Lecturas recomendadas

- Cofepris. (2023, enero-febrero). *Vapeadores: Lo oculto*. Recuperado el 6 de agosto de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/793364/Revista_EneroFebrero__2_.pdf
- Conave. (2019, septiembre). *Aviso epidemiológico*. Recuperado el 9 de agosto de 2024, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/498137/ae_Vapeo_25092019.pdf
- Elsevier. (2020). *Contaminación del aire: Interior y exterior*. Recuperado el 7 de agosto de 2024, de <https://www.clinicalkey.es/#!/content/book/3-s2.0-B9780323544245000319?scrollTo=%23hl0000710>
- . (2024, mayo). *Nicotina*. Recuperado el 5 de agosto de 2024, de https://www.clinicalkey.es/#!/content/drug_monograph/6-s2.0-435
- FACE. (2021). *Marketing de influencers en redes sociales*. Recuperado el 08 de agosto de 2024, de https://www.researchgate.net/publication/355407167_Marketing_de_influencers_en_redes_sociales
- Journal of Dental Sciences. (2024). Efectos adversos de los cigarrillos electrónicos sobre la salud humana. *Journal of Dental Sciences*. Recuperado el 07 de agosto de 2024, de <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/journal/1-s2.0-S1991790224002514>
- INSP. (2020, agosto). *El cigarro electrónico, un riesgo para los adolescentes mexicanos*. Recuperado el 8 de agosto de 2024, de <https://www.insp.mx/avisos/3789-cigarro-electronico-riesgo.html>
- Nelson. (2020). *Abuso de sustancias*. Recuperado el 9 de agosto de 2024, de <https://www-clinicalkey-es.wdg.biblio.udg.mx:8443/#!/content/book/3-s2.0-b9788491136842001400?scrollto=%23hl0003515>
- NIDA. (2020, enero 16). *Cigarrillos electrónicos (e-cigs) – Drug Facts*. Obtenido de <https://nida.nih.gov/es/publicaciones/drugfacts/cigarrillos-electronicos-e-cigs> en 2024, agosto 7.
- OMS. (2024, enero). *Tabaco: Cigarrillos electrónicos*. Recuperado el 08 de agosto de 2024, de <https://www.who.int/es/news-room/questions-and-answers/item/tobacco-e-cigarettes>

¿Una segunda infección por dengue es más grave?

ROBERTO CARLOS ROSALES GÓMEZ*
SUSAN ANDREA GUTIÉRREZ RUBIO**

Resumen

El dengue (DENV) es una enfermedad que se debe a la picadura del mosquito hembra del género *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* contagiada con el virus, existen cuatro serotipos: DENV1, DENV2, DENV3 y DENV4; algunas personas suelen no presentar manifestaciones clínicas por lo que suelen ser son asintomáticas; sin embargo, existen personas que pueden contagiarse por segunda ocasión y en estos casos los síntomas se pueden agravar, presentándose el dengue grave (DG), pudiendo incluso llevar a la muerte en algunos casos debido a que con la presencia de hemorragia el tratamiento es asintomático. Los cuatro serotipos de DENV en México están distribuidos en toda la República Mexicana; en Jalisco tenemos los cuatro serotipos; derivado de diversos estudios se ha encontrado que los serotipos 2, 3 y 4 se asocian con el desarrollo de DG cuando se tiene una segunda infección, por lo tanto es de vital importancia vigilar los serotipos de virus circulantes y sobre todo estar atentos ante una segunda infección por DENV, ya que esto podría generar el dengue grave.

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Tonalá.

** Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de Ciencias de la Salud.

Introducción

El conocimiento del desarrollo de enfermedades emergentes por agentes patógenos es de vital importancia para comprender el curso de las endemias, como es el caso del dengue tanto en nuestro país como en aquellos que también son afectados, como Brasil, Cuba, Venezuela, África y Asia, sobre todo ante este virus del cual no existe un tratamiento específico y que ha presentado diversos brotes a través de la historia desde su conocimiento; otro factor importante se debe a la migración y comunicación global de las personas, esto ha permitido que se diseminen los serotipos presentes en los demás países, sobre todo en los que registran climas cálidos, como lo es nuestro país. El DENV es un virus de ácido ribonucleico (ARN) monocatenario de sentido positivo que pertenece al género *Flavivirus*, familia *Flaviviridae*. El genoma del virus codifica un único marco de lectura abierto (ORF) largo, flanqueado por regiones no traducidas (UTR) 5' y 3' altamente estructuradas. El extremo N terminal codifica las tres proteínas estructurales (C-prM-E), seguidas de siete proteínas no estructurales (NS) (NS1-NS2A-NS2B-NS3-NS4A-NS4B-NS5) (Iglesias, 2011). El género *Flavivirus* incluye otros virus patógenos para los humanos como el virus de la fiebre amarilla (YFV), el virus del Nilo occidental (WNV), virus de la encefalitis japonesa (JEV) y virus transmitidos por garrapatas (TBEV); existen cuatro serotipos distintos (DENV-1 a -4) y cualesquiera de los cuatro serotipos pueden causar enfermedad. El DENV es transmitido al humano por el mosquito hembra del género *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus* (Costa, 2012; Aduljalisi, 2022; Iglesias, 2011), los mosquitos *Aedes* crecen en regiones tropicales y subtropicales donde las infecciones por DENV son muy comunes y entre las regiones afectadas encontramos a África, América y Asia, en donde se reportan más de 12,000 muertes al año entre todas las regiones (Soo, 2016).

La primera epidemia de DENV se reportó en Venezuela en 1964 y duró hasta 1967. Durante ese tiempo, 23 muertes fueron atribuidas al DENV, pero no se llevaron a cabo investigaciones para confirmar la ocurrencia de DG como la posible causa de muerte y tampoco hay datos del serotipo causante. Posteriormente se reportó un brote debido al DENV-2 en 1969. Desde 1971 hasta 1977, el pequeño número de reportes indicó que la actividad del DENV era baja; sin embargo, el DENV-1 se estableció en 1977, primero en Jamaica y Cuba, y un año después en Venezuela y Puerto Rico, causando epidemias masivas de den-

gue. Durante los cuatro años siguientes el DENV-1 se extendió por las islas del Caribe, México, Texas, América Central y América del Sur. En 1981 el DENV-4 se introdujo en América, pero no causó daños (PAHO, 1979).

Tipos de infección

La infección por DENV se clasifica como dengue grave (DG), dengue no grave (DNG) y dengue con síntomas de alarma (DCSA), en algunos casos la infección suele ser asintomática, por lo cual las personas no manifiestan ninguno de los síntomas, pero algunos casos manifiestan diversos síntomas clínicos que van desde síntomas similares a los de una gripe, dolor de huesos (por lo cual recibe el nombre de enfermedad quebrantahuesos en algunas localidades) y también puede agravarse presentándose el DG. Dentro de sus características, encontramos un aumento en la fragilidad vascular de los vasos sanguíneos y coagulopatía (Abduljalil, 2022), que tiene una amplia gama de manifestaciones clínicas, con evolución clínica y desenlace impredecibles. La mayoría de los pacientes se recuperan tras un curso clínico autolimitado y no grave, en algunos casos progresa a una enfermedad grave, caracterizada principalmente por fuga de plasma con o sin hemorragia. En muchos países tropicales y subtropicales el DENV constituye un importante problema de salud pública (Roche, 2012).

El tiempo que tarda en establecerse la infección, mejor conocido como periodo de incubación, va desde el primer día de la picadura hasta el cuarto o décimo día, en donde alguna persona presenta fiebre; sin embargo, los días críticos son entre el tercer y séptimo día, cuando el DENV puede provocar el DG y se puede presentar la hemorragia debido a la permeabilidad vascular y agravarse los síntomas (Kok, 2023).

Respuesta inmune

La activación del sistema inmune es importante para impedir que la infección viral por DENV se establezca, sobre todo en los primeros días después de ser infectado; sin embargo, la evasión inmune por parte de DENV puede ser facilitada por la presencia de proteínas como es la proteína NS1, que interactúa con diferentes vías de activación de complemento, como lo son las vías clásica y vía de la lectina (Avirutnan *et al.*, 2008). Esto resultará en la alteración de la funcionalidad de los componentes del complemento inmune e inhibirá la

respuesta mediada por el complemento (Avirutnan, 2011), provocando que el DENV aumente sus posibilidades de supervivencia y replicación viral.

La replicación viral del DENV en la etapa temprana normalmente está controlada por la producción de interferón (IFN), conocida como la primera línea de defensa del sistema inmune ante la presencia del DENV; una vez evadido el sistema inmune, el DENV será reconocido por los receptores tipo Toll (TLR) y los receptores de lectina de tipo C, que se clasifican como receptores de reconocimiento de patrones (PRR) producidos a partir de células centinelas inmunes. La activación de los PRR activa las respuestas antivirales innatas en el cuerpo humano a través de la producción de IFN y factor de necrosis tumoral (TNF) (Ho *et al.*, 2001). La activación de TLR-3 y TLR-7 conducirá a la producción de interferón alfa (IFN- α) e interferón beta (IFN- β), que son importantes para la inhibición de la infección por DENV (Kok, 2022).

Segunda infección

En el caso de las personas que se infectan en una segunda ocasión de otro serotipo de DENV durante su vida, al momento de establecerse la infección ésta es más severa que la infección que presentaron por primera vez, una posible explicación es la teoría de la mejora dependiente de anticuerpos, mediante la cual se establece que en la primera infección la persona infectada forma anticuerpos específicos para el serotipo del cual fue infectado y esto a su vez le confiere una protección de largo plazo; sin embargo, no lo protege a corto plazo cuando es infectado por cualquiera de los otros tres serotipos; por este mecanismo, cuando se tiene una segunda infección con distinto serotipo, los anticuerpos que el humano produce no neutralizan al virus y se forman nuevos complejos del sistema inmune, que terminan por ser más agresivas las manifestaciones que presenta el humano (Soo, 2016).

Por otro lado, en un estudio realizado en Malasia (Bakar, 2002) se encontró que los serotipos 1 y 3 fueron los responsables de haber generado las muertes y el mosquito responsable fue *Aedes aegypti*, y se propone que en el caso del mosquito *Aedes albopictus* es el que transmite el serotipo 4 de DENV, y dado que éste se encuentra en lugares con menor población, por lo tanto es menor su capacidad de transmisión; por otro lado, este mosquito crece en climas templados y eso ayudaría a que no se encuentre con mayor presencia que el *Aedes*

aegypti; sin embargo, recordemos que por la localización geográfica de nuestro estado sí es posible que se tenga la presencia de ambos mosquitos en Jalisco.

Durante tres periodos epidémicos diferentes en Venezuela (1989, 1997 y 2006), el serotipo 2 se ha asociado con una mayor gravedad de la enfermedad, considerando en América y Asia como el responsable del DG; además, de acuerdo que el árbol filogenético muestra la presencia de dos linajes diferentes de DENV-2 circulando en Venezuela durante los últimos 20 años, ambos agrupados en el genotipo americano/asiático. Uno parece estar relacionado con epidemias que ocurrieron a finales de los años 1980 y principios de los 1990 y posteriormente a finales de los 1990 (Roche, 2012); en el caso de Jalisco, este serotipo fue el segundo de predominancia en la endemia de 2018 con 585 casos confirmados, abarcando el 28.8%, en primer lugar fue el serotipo 1 con el 71% de los casos y sólo se detectó un caso del serotipo 4 de acuerdo con los datos proporcionados por el Sistema Especial de Vigilancia Epidemiológica de Dengue en 2018 (SSA, 2018), por lo que es de suma importancia el estar vigilando el comportamiento de los serotipos en nuestra región para evitar decesos asociados a DENV.

De acuerdo con los datos proporcionados por el Sistema Especial de Vigilancia Epidemiológica de Dengue en México, la información proporcionada hasta la semana 30 correspondiente hasta el 29 de julio de 2024, en Jalisco están circulando los serotipos de DENV 1, 2 y 3 sin encontrar el serotipo 4, de un total de 769 casos confirmados, el 88.8% corresponde al tipo 3, seguido por el tipo 1 y el menos frecuente el tipo 2 (ssa, 2024); por otro lado, es importante mencionar que tanto en el año 2023 como en este año los casos confirmados son casi los mismos y lo más importante es que no se han presentado muertes relacionadas con la infección hasta ahora.

Agentes terapéuticos

Los anticuerpos neutralizantes desempeñan un papel importante en la inhibición del sitio funcional de la proteína de la envoltura (E) del DENV para que no interactúe con las células huésped (Pierson, 2008). Los anticuerpos que son altamente neutralizantes normalmente se unen a la proteína E, que son fácilmente accesibles y están expuestos en la superficie del virión.

Dejnirattisai y su equipo de trabajo descubrieron anticuerpos neutralizantes que tienen el potencial de neutralizar todos los serotipos del DENV (Dejnirat-

tisai, 2015). Descubrieron que los anticuerpos monoclonales de ratón (mAb) se dirigen al sitio del dímero de la envoltura del DENV y lo neutralizan en las células humanas infectadas, en comparación con los anticuerpos que se dirigen al sitio del bucle de fusión.

Los inhibidores de péptidos tienen como objetivo interrumpir el ciclo de vida del DENV al afectar las funciones de las proteínas virales vitales para su formación. Los péptidos antivirales se pueden utilizar para inhibir la infección por DENV a través de algunas vías, como el reconocer los receptores celulares del huésped para bloquear la entrada del virus, evitando que la célula del huésped se adhiera a las proteínas virales; otro mecanismo es dirigirse a las proteínas estructurales que evitarán la entrada viral al bloquear la unión entre las células huésped y el virus, y finalmente dirigirse a las proteínas no estructurales que se ocupan principalmente de la inhibición de la replicación viral. Sin embargo, existen algunos inconvenientes para que los péptidos antivirales se utilicen como fármacos terapéuticos eficaces, como lo es la estabilidad y la biodisponibilidad limitada (Kok, 2023).

Vacunas

El desarrollo de vacunas eficaces es un gran desafío en la terapéutica del DENV debido a la complicación de sus cuatro serotipos antigénicamente distintos. Una infección primaria de uno de los serotipos del DENV dará como resultado una protección a largo plazo, pero con una protección a corto plazo contra infecciones de otros serotipos, por lo que una persona podría enfrentar un empeoramiento de la enfermedad durante una segunda infección debida a un serotipo diferente (Kook, 2023). La eficacia de la gran mayoría de las vacunas para uso en el humano depende de las respuestas de los anticuerpos (Ac), el conocimiento de los procesos inmunológicos que controlan la generación de Acs neutralizantes es insuficiente y, por lo tanto, el progreso en cómo optimizar la generación de anticuerpos neutralizantes después de la inmunización ha sido en gran parte empírico (Daughton, 2020).

Diversos estudios epidemiológicos han sugerido que conforme cambia el panorama inmunológico, los serotipos virales evaden la inmunidad y presentan una ventaja selectiva. Además, estudios recientes sugieren que la diversidad de serotipos puede limitar la eficacia de la terapia con anticuerpos monoclonales

o las vacunas tetravalentes contra el DENV, ya que la potencia de neutralización generalmente se correlaciona con una especificidad reducida (Roche, 2012).

Conclusiones

Es de vital importancia que se estén monitorizando por parte de las autoridades los serotipos circulantes de DENV y seguir llevando a cabo los procesos de fumigación; por otro lado, también la sociedad debemos minimizar los criaderos del mosquito sobre todo en el temporal de lluvia, como lo es el evitar que se estanque el agua de la lluvia en los patios y cocheras —incluso se han encontrado larvas del mosquito en corcholatas de refrescos—, no almacenar llantas de automóvil, cualquier vasija que pueda almacenar agua y ante la presencia de malestares parecidos a una gripe, acudir con el médico, dado que como se expuso, la enfermedad puede progresar a DNG o a DCSA y más aún cuando ya se tuvo una primera infección del DENV anteriormente. De acuerdo con lo reportado en diversos estudios, la segunda infección por DENV 2, DENV 3 y DENV 4 es más riesgoso debido a que se llega a presentar DG, y para nuestro estado los serotipos circulantes en los últimos años han sido los serotipos 1, 2 y 3 y esto pudiera incrementar los casos de DG debido a que se produce permeabilidad vascular y por ende la hemorragia.

Lecturas recomendadas

- Abduljalil, J. M., & Abd Al Galil, F. M. (2022). Molecular pathogenesis of dengue virus infection in *Aedes* mosquitoes. *Journal of Insect Physiology*, 138, 104367.
- Avirutnan, P., Hauhart, R. E., Somnuk, P., Blom, A. M., Diamond, M. S., y Atkinson, J. P. (2011). Binding of flavivirus non-structural protein NS1 to C4b binding protein modulates complement activation. *J. Immunol.*, 187(1), 424-433.
- Avirutnan, P., Mehlhop, E., y Diamond, M. S. (2008). Complement and its role in protection and pathogenesis of flavivirus infections. *Vaccine*, 26(Suppl 8), I100-I107.
- Bakar, S. A., & Shafee, N. (2002). Outlook of dengue in Malaysia: A century later. *Malaysian Journal of Pathology*, 24(1), 23-27.

- Costa, R. L., Voloch, C. M., & Schrago, C. G. (2012). Comparative evolutionary epidemiology of dengue virus serotypes. *Infection, Genetics and Evolution*, 12(2), 309-314.
- Dejnirattisai, W., Wongwiwat, W., Supasa, S., Zhang, X., Dai, X., Rouvinski, A., Jumnainsong, A., Edwards, C., Quyen, N. T. H., Duangchinda, T., et al. (2015). A new class of highly potent, broadly neutralizing antibodies isolated from viremic patients infected with dengue virus. *Nat. Immunol.*, 16(2), 170-177.
- Havenar-Daughton, C., Newton, I. G., Zare, S. Y., Reiss, S. M., Schwan, B., Suh, M. J., ... & Crotty, S. (2020). Normal human lymph node T follicular helper cells and germinal center B cells accessed via fine needle aspirations. *Journal of Immunological Methods*, 479, 112746.
- Iglesias, N. G., & Gamarnik, A. V. (2011). Dynamic RNA structures in the dengue virus genome. *RNA Biology*, 8(2), 249-257.
- Kok, B. H., Lim, H. T., Lim, C. P., Lai, N. S., Leow, C. Y., & Leow, C. H. (2023). Dengue virus infection: A review of pathogenesis, vaccines, diagnosis and therapy. *Virus Research*, 324, 199018.
- PAHO. (1979). Dengue in the Caribbean, 1977. Proceedings of a Workshop held in Montego Bay, Jamaica, 8-11 May, 1978. *PAHO Scientific Publication*, 375.
- Pierson, T. C., Fremont, D. H., Kuhn, R. J., y Diamond, M. S. (2008). Structural insights into the mechanisms of antibody-mediated neutralization of flavivirus infection: Implications for vaccine development. *Cell Host Microbe*, 4(3), 229-238.
- Rodríguez-Roche, R., Villegas, E., Cook, S., Kim, P. A. P., Hinojosa, Y., Rosario, D., & Guzmán, M. G. (2012). Population structure of the dengue viruses, Aragua, Venezuela, 2006-2007. Insights into dengue evolution under hyperendemic transmission. *Infection, Genetics and Evolution*, 12(2), 332-344.
- Secretaría de Salud. (2018). *Panorama epidemiológico de dengue*. | DGA InDRE. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/478592/Pano_dengue_sem_52_2018.pdf. Consultado en 2 de agosto de 2024.
- . (2024). *Panorama epidemiológico de dengue*. Semana epidemiológica 30 de 2024. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/935480/Pano_dengue_30.pdf. Consultado en 2 de agosto de 2024.
- Soo, K. M., Khalid, B., Ching, S. M., & Chee, H. Y. (2016). Meta-analysis of dengue severity during infection by different dengue virus serotypes in primary and secondary infections. *PloS One*, 11(5), e0154760.

La flor de jamaica: ¿el secreto mejor guardado para tu salud?

SERGIO SÁNCHEZ ENRÍQUEZ*

GABRIELA CAMARGO HERNÁNDEZ*

Resumen

Durante muchos años en la historia de la medicina se han buscado una serie de tratamientos naturales alternativos o complementarios a la medicina de patente con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas con enfermedades crónicas no transmisibles y transmisibles. En la medicina tradicional se conoce que existen muchas plantas que cuentan con propiedades medicinales tanto para la prevención como para el tratamiento de múltiples enfermedades. Una de las plantas utilizadas con mayor frecuencia por varias culturas ancestrales es la flor de jamaica, cuyo nombre científico es *Hibiscus sabdariffa*. La flor de jamaica en la actualidad es una de las plantas más estudiadas por sus propiedades nutrimentales, la diversidad de usos en el campo culinario, por su accesibilidad y facilidad de preparación como bebida refrescante y por la presencia de múltiples compuestos que tienen actividad biológica, que permiten su uso como medicina en diferentes enfermedades. En este artículo se describe la composición química, las propiedades farmacológicas, algunos componentes biológicamente activos y el uso de la flor de jamaica

* Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de los Altos, Departamento de Ciencias de la Salud.

en diferentes estados patológicos. Brevemente, la flor de jamaica está compuesta principalmente de ácidos orgánicos como el ácido málico, el ácido cítrico, y el ácido hibísico; de una variedad de flavonoides como la quercetina y la gossypetina; de diversos polifenoles como el ácido gálico, y de antocianinas como varios tipos de delphinidinas. Estos compuestos en su conjunto producen efectos tanto fisiológicos como farmacológicos en los seres humanos, como son el efecto antioxidante, el efecto antiinflamatorio, el efecto antihipertensivo, el efecto antimicrobiano, el efecto hipolipemiente (reductor de las grasas en sangre) y el efecto hipoglucemiante (reductor del nivel de azúcar en la sangre). Estos efectos beneficiosos para la salud hacen de la flor de jamaica un recurso valioso en la medicina natural y en la prevención y tratamiento, ya sea como medicamento único, medicamento complementario o alternativo, de diversas enfermedades.

Introducción

La flor de jamaica, científicamente conocida como *Hibiscus sabdariffa*, se considera una verdadera joya de la botánica, que ha cautivado a diferentes culturas por sus propiedades medicinales y culinarias. Es por esto que dicha flor ha sido utilizada durante siglos como bebida refrescante y por sus propiedades medicinales en diversos países como Tailandia, Nigeria, China, India, Perú, Ecuador y México, entre otros. Aunque es originaria de África occidental, esta planta se ha adaptado en diversas regiones tropicales y subtropicales alrededor del mundo, donde se cultiva no sólo por su atractivo ornamental, sino también por su valor nutricional y terapéutico (Guardiola, 2014).

La jamaica pertenece a la familia malvácea y se distingue por sus características morfológicas únicas. Sus hojas son lobuladas y dentadas, mientras que las flores, grandes y vistosas, poseen pétalos de color rojo brillante y un cáliz en forma de copa. Sin embargo, es el cáliz, en lugar de las propias flores, el centro de interés para su uso. Este cáliz, carnoso y rojizo, encierra numerosas semillas y es el componente utilizado tanto en la cocina como en la medicina tradicional (Cid-Ortega, 2012; Guardiola, 2014).

En la gastronomía, la flor de jamaica es apreciada por su sabor agrio y refrescante, lo que la hace ideal para la preparación de ensaladas, infusiones, jugos, mermeladas y postres. En muchos países, especialmente en Nigeria,

México y Centroamérica es común consumirla como una bebida refrescante conocida como “agua de jamaica” (Cid-Ortega, 2012).

Además de su valor culinario, la flor de jamaica ha sido objeto de estudios científicos que han revelado sus numerosos beneficios para la salud, como se revisará más adelante. Estos atributos la convierten en una aliada en la prevención y tratamiento de enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales, diabetes tipo 2 y otras condiciones relacionadas con el síndrome metabólico (Gurrola-Díaz, 2010; González Stuart, 2014; Guardiola, 2014; Iza, 2020).

Entre los principales productores de la jamaica se encuentran países como México, Jamaica, Tailandia, Sudán, India, Nigeria y China. La adaptabilidad de la planta a diferentes condiciones climáticas y su resistencia a plagas y enfermedades la hacen accesible para agricultores en diversas latitudes, contribuyendo así a su popularidad y disponibilidad global (njaes.edu, 2018).

A medida que se amplía la investigación sobre los beneficios de la flor de jamaica, surgen nuevas oportunidades para su aplicación en la industria farmacéutica y alimentaria. Sin embargo, persisten desafíos relacionados con la sostenibilidad de su cultivo, la estandarización de sus componentes activos y la promoción de prácticas agrícolas responsables (en especial controlar las plagas con métodos naturales y no con el uso de insecticidas, plaguicidas y herbicidas, de origen químico sintético) que aseguren su conservación y calidad.

En resumen, la flor de jamaica no sólo es una delicia sensorial y un símbolo de belleza natural, sino también una fuente invaluable de salud y bienestar. Su historia de uso ancestral y su potencial para el futuro la convierten en un verdadero tesoro biológico que merece ser apreciado y protegido en todas las latitudes donde florezca.

En este artículo se explora la composición química, las propiedades farmacológicas y los aspectos toxicológicos de la flor de jamaica, destacando sus principales componentes con actividad biológica, sus efectos fisiológicos y los mecanismos de acción que la hacen una valiosa aliada en el tratamiento de diversas enfermedades.

Composición química

La flor de jamaica contiene del 9 al 17% de proteínas, según la variedad, estas proteínas aportan la mayoría de los aminoácidos nutricionalmente esenciales

(excepto el triptófano), contiene alrededor de 60% de carbohidratos, del 1 al 2% de lípidos y del 8.5 a 12% de fibra cruda y casi 34% de fibra dietética, de la cual el 29% es insoluble y cerca del 5% es soluble. Asimismo, la flor de jamaica es una fuente importante de vitaminas del complejo B, de ácido ascórbico y de beta carotenos (compuestos que dan origen a la vitamina A), contiene minerales como el calcio, potasio, magnesio, hierro y zinc, y varios oligoelementos (Sayago-Ayerdi, 2010; Sindi, 2014). Cabe mencionar que estos últimos compuestos no los puede formar el ser humano, por lo que se deben obtener de fuentes externas, ya que son elementos indispensables para la vida y para preservar la salud, pues intervienen en las funciones respiratorias, digestivas, neurovegetativas y musculares, como reguladores (Alarcón-Corredor, 2009).

Además, la flor de jamaica contiene compuestos químicos que muestran actividad biológica importante, siendo los principales los ácidos orgánicos como el ácido málico, el ácido cítrico o ascórbico (vitamina C) y el ácido hibísico, compuestos que le proporcionan el sabor típico y las propiedades antioxidantes a la flor de jamaica; los flavonoides, como la quercetina, luteolina, hibiscetina y gossypitrina que tienen actividad antioxidante y antiinflamatoria; las antocianinas, como la delfinidina-3-glucósido, delfinidina-3-sambubiósido y la cianidina-3-sambubiósido que le dan el color rojo y actividad antioxidante, y los ácidos fenólicos como el ácido hidroxibenzoico, ácido hixroxicinámico, anthocianidinas, ácido clorogénico, ácido protocatecuico, ácido gálico, ácido elágico, ácido cumárico, ácido ferúlico y ácido cafeico que también muestran actividad antioxidante (Sayago-Ayerdi, 2010).

Propiedades fisiológicas y farmacológicas de la jamaica

Efectos fisiológicos y mecanismos de acción de la flor de jamaica

- a. *Antioxidante.* Los radicales libres son átomos o grupos de átomos que contienen electrones libres o no apareados. Esta característica los hace altamente reactivos ya que para alcanzar su estabilidad electroquímica los radicales libres inician una reacción en cadena que puede dañar a las macromoléculas biológicas tales como los lípidos o grasas, las proteínas, los carbohidratos y los ácidos nucleicos, y en consecuencia esto altera el equilibrio del medio interno del cuerpo (homeostasis) (Guardiola, 2014; Reddy, 2023).

La mayoría de los radicales libres surgen a partir de las propias reacciones químicas del cuerpo; sin embargo, también pueden originarse del metabolismo de sustancias químicas que se obtienen del ambiente (algunos medicamentos, humo de tabaco, dieta inadecuada, etc.), exposición a radiaciones ionizantes, pesticidas, y metales pesados (Guardiola, 2014; Reddy, 2023). Cuando se pierde el equilibrio entre los oxidantes y antioxidantes (estrés oxidativo) se aumenta la susceptibilidad a múltiples enfermedades como cáncer, envejecimiento celular, aterosclerosis, presión arterial alta y alteraciones en las grasas de la sangre (Reddy, 2023).

La flor de jamaica contiene antioxidantes que protegen las células del cuerpo contra el daño causado por agentes oxidantes, como los radicales libres. Este efecto antioxidante no sólo ayuda a prevenir el envejecimiento prematuro de las células, sino que también se asocia con la reducción del riesgo de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. La flor de jamaica contiene polifenoles, los cuales son vasodilatadores, disminuyen la probabilidad de coágulos sanguíneos, disminuyen las grasas en sangre, disminuyen la formación de placas de grasa en las arterias (ateromas) y disminuyen la muerte celular programada (apoptosis). Los polifenoles tienen una actividad antioxidante 10 veces mayor que la vitamina A y 100 veces mayor que la vitamina E y los carotenoides (sustancias que dan el color naranja a la zanahoria y otras frutas) (Guardiola, 2014).

b. Antiinflamatorio. La inflamación es una respuesta protectora del cuerpo potencialmente causada por infecciones microbianas, virales o por hongos, daño a los tejidos, o incluso reacciones autoinmunes (el organismo desconoce y ataca a sus propios tejidos) (Chen, 2017). Los signos cardinales de la inflamación (dolor, rubor o enrojecimiento, calor en el sitio inflamado y tumor o hinchazón) son consecuencia de cambios inmunológicos, bioquímicos y fisiológicos que ocasionan la liberación de mediadores químicos proinflamatorios en el sitio dañado (lo cual produce aumento en el flujo sanguíneo, aumento en la permeabilidad de los vasos sanguíneos y reclutamiento de glóbulos blancos [leucocitos]). La inflamación puede conducir a enfermedades inflamatorias agudas y crónicas que conllevan a discapacidad y gastos importantes en salud (Chen, 2017).

Los flavonoides y otros compuestos presentes en la flor de jamaica poseen propiedades antiinflamatorias significativas. Estos compuestos ayudan a reducir la inflamación en el cuerpo, lo cual puede ser beneficioso para personas que sufren de condiciones inflamatorias crónicas como artritis, gastritis y colitis. Al aliviar la inflamación, la flor de jamaica puede contribuir a mejorar la calidad de vida y reducir los síntomas asociados con estas enfermedades (González Stuart, 2011; Guardiola, 2014; Iza, 2020).

- c. *Antihipertensivo*. La presión arterial elevada es un factor de riesgo cardiovascular muy importante y muy común en la sociedad moderna. De hecho, la presión alta es uno de los principales riesgos para el desarrollo de enfermedad cardiovascular, junto con el tabaquismo y las alteraciones de las grasas en la sangre (Guardiola, 2014). Las enfermedades cardiovasculares son la causa número uno de muerte en casi todos los países del planeta y son responsables de casi el 40% de todas las defunciones. No se conoce el origen exacto de la presión alta en más del 90% de los casos, pero parece estar involucrado el estrés oxidativo, anormalidades en el metabolismo (en especial de las grasas), alteraciones hormonales y la carga genética, que contribuye con aproximadamente el 40% de la variabilidad en los valores de presión arterial (Guardiola, 2014).

Los flavonoides presentes en la flor de jamaica tienen la capacidad de reducir la presión arterial, especialmente en personas con hipertensión leve a moderada. Este efecto se debe a su capacidad para mejorar la función de los vasos sanguíneos, lo que resulta en un mejor flujo sanguíneo y una menor resistencia vascular. Incorporar la flor de jamaica en la dieta puede ser una medida complementaria para quienes buscan controlar su presión arterial de manera natural (González Stuart, 2011; Cid-Ortega, 2012; Guardiola, 2014; Iza, 2020).

- d. *Antimicrobiano*. La flor de jamaica exhibe propiedades antimicrobianas, lo que significa que puede ayudar a combatir diversas bacterias y hongos. Esto sugiere su potencial uso en el tratamiento de infecciones microbianas, ofreciendo una alternativa natural a los antibióticos convencionales. La actividad antimicrobiana de la flor de jamaica la convierte en un recurso valioso en la búsqueda de tratamientos efectivos y menos agresivos para diversas enfermedades infecciosas (Venkatesan, 2024).

- e. *Reductor de grasas en la sangre.* Las dislipidemias (alteraciones de las grasas en la sangre), son frecuentes en la población general y aún más en la población de personas que padecen diabetes (Cuevas, 2016; Hernández-Alcaraz, 2020). Las alteraciones en las grasas aumentan el riesgo de desarrollar enfermedad cardiovascular, diabetes y pancreatitis, entre otras patologías (Pallarés-Carratalá, 2015; Cuevas, 2016). Se sabe que cuando se controlan las grasas en la sangre disminuye el riesgo de formación de placas de grasa en las arterias y, por ende, disminuye el riesgo de infarto al corazón o enfermedades vasculares cerebrales. Los compuestos activos de la flor de jamaica contribuyen a reducir los niveles de colesterol LDL (“colesterol malo”) y triglicéridos en la sangre, al mismo tiempo que aumentan los niveles de colesterol HDL (“colesterol bueno”). Esta mejoría en el perfil de los lípidos es crucial para mantener la salud cardiovascular, ya que reduce el riesgo de enfermedades del corazón y de los vasos sanguíneos (González Stuart, 2011; Cid- Ortega, 2012; Guardiola, 2014; Iza, 2020). El uso de la flor de jamaica como parte de una dieta equilibrada puede ayudar a mantener los niveles de las diferentes grasas de la sangre en rangos saludables.
- f. *Regulador de la glucosa en la sangre.* La glucosa es un carbohidrato simple cuya función más importante es proporcionar energía a prácticamente todas las células. Las células cerebrales y los glóbulos rojos (eritrocitos) son muy dependientes de la glucosa, debido a que ellas no pueden utilizar las grasas como energía.

A concentración normal, podemos decir que la glucosa es un nutriente fabuloso; sin embargo, cuando la concentración de glucosa, en la sangre, se mantiene persistentemente elevada, ocasiona una serie de alteraciones metabólicas que van a conducir a toxicidad por glucosa y al desarrollo de diabetes (Kawahito, 2009). La diabetes es una de las patologías más frecuentes a nivel mundial y se considera, en general, la segunda causa de mortalidad en la gran mayoría de los países. Además, la diabetes, mal controlada, ocasiona complicaciones crónicas que generan discapacidad severa a los pacientes (Deshpande, 2008).

Por ejemplo, la diabetes es una de las principales causas de ceguera, de daño severo a los riñones, de problemas cardiovasculares y de amputaciones

no traumáticas de las extremidades inferiores, todas estas complicaciones ocasionan importantes gastos médicos directos e indirectos.

La flor de jamaica también muestra efectos beneficiosos en la regulación de los niveles de azúcar en la sangre. Los componentes activos de esta planta pueden ayudar a disminuir los niveles elevados de glucosa en la sangre, lo cual es especialmente relevante para las personas con diabetes o prediabetes. Este efecto puede ofrecer una herramienta natural complementaria para el manejo de la glucosa en individuos que requieren controlar su nivel de azúcar de manera efectiva (Bule, 2020).

En un estudio realizado por nuestro grupo de trabajo, que tenía como objetivo evaluar la eficacia de un extracto en polvo que contenía antocianinas de la flor de jamaica, para tratar pacientes con síndrome metabólico, una patología en la cual existen múltiples alteraciones como los valores altos de grasas en sangre (triglicéridos), niveles bajos del colesterol HDL en la sangre (colesterol “bueno”), elevación de la glucosa en sangre (hiperglucemia), obesidad abdominal (cintura mayor de 80 cm en mujeres y de 90 cm en hombres) y presión arterial alta (hipertensión), que además predispone al desarrollo de la diabetes y problemas cardiovasculares, como el infarto al corazón, encontramos que las antocianinas de jamaica encapsuladas y a dosis de 100 mg/día, por vía oral, durante un mes, redujeron los niveles de glucosa, de colesterol total, de triglicéridos y aumentaron los niveles del colesterol bueno y disminuyeron la resistencia a la insulina. Además, no se observó ninguna evidencia de laboratorio de daño al riñón o al hígado (Gurrola-Díaz, 2010).

Los efectos benéficos de las antocianinas de jamaica se atribuyeron a que éstas mejoran varios aspectos que están relacionados con el desarrollo de diabetes y de enfermedad cardiovascular, como la resistencia a la insulina, la obesidad, la hipertensión y la dislipidemia. Otra cosa que es importante remarcar es que cuando se trata el síndrome metabólico se pueden revertir las alteraciones y además evitar el desarrollo de diabetes o de problemas cardiovasculares (Gurrola-Díaz, 2010).

Estas propiedades destacadas hacen de la jamaica una opción prometedora no sólo como alimento, sino también como una fuente de compuestos con actividad biológica con potencial terapéutico y preventivo en dislipidemias, diabetes e hipertensión.

Toxicidad de la flor de jamaica

Un aspecto importante a abordar de la flor de jamaica es su seguridad para consumo como alimento o como fármaco. En general, el uso de la flor de jamaica se considera seguro en las cantidades que se encuentra comúnmente en los alimentos y en las medicinas herbarias tradicionales, particularmente en infusiones y extractos acuosos de las flores y las hojas (RPS, 2024). Aunque los datos clínicos de seguridad y toxicidad disponibles son limitados, no se han reportado reacciones adversas graves (RPS, 2024). *Hibiscus sabdariffa* por vía oral generalmente se tolera bien (TRC, 2024). Los efectos secundarios son poco comunes, pero pueden incluir malestar estomacal, gases y estreñimiento (Medline Plus, 2024). Aun así, se requieren más investigaciones provenientes de estudios bien diseñados.

Se ha informado que la jamaica tiene un bajo grado de toxicidad aguda, estudios en ratas han demostrado que para que la jamaica sea tóxica se requiere la ingesta de más de 5,000 mg/ kg (Ali, 2005; Sireeratawong, 2013).

Jabeur I. *et al.* (2017) no encontraron toxicidad en el hígado cuando expusieron a células hepáticas de cerdo a dosis de hasta 400 µg/mL. Tampoco se demostró toxicidad en células de la piel humana (Putra, 2020; Wang, 2022). Las dosis de 250 a 1,000 mg/kg/día de la flor de jamaica administradas durante 30 días no mostraron efectos perjudiciales en sistemas de órganos como el hígado, riñón, sistema sanguíneo, electrolitos, metabolismo lipídico y de carbohidratos de ratas Wistar (Prommetta, 2006). Sin embargo, se ha informado que dosis altas y el uso prolongado pueden causar alteración en las enzimas hepáticas, sin efecto histológico de daño (Akindahunsi, 2003; Fakeye, 2008). Se reportó que una dosis alta de flor de jamaica (300-2,000 mg/kg) puede ser tóxica para el hígado. Sin embargo, esta dosis es tan alta que, si la trasladamos al humano, una persona de 70 kg de peso tendría que comer de 21 a 140 g de la flor de jamaica diarios por un lapso de tres meses, para iniciar cambios bioquímicos en el hígado (Fakeye, 2008).

Contrariamente a la afirmación anterior, un estudio en ratas Wistar macho no reportó daño hepático después de la administración de 4,600 mg/kg de la flor de jamaica durante tres meses. Esta dosis si se traslada al humano sería lo equivalente a que un hombre de 70 kg se comiera 322 g de jamaica al día durante tres meses, lo cual sería ¡una exageración! Sin embargo, con esta dosis

sí se observaron efectos negativos en los testículos y en la cuenta de espermatozoides (Orisakwe, 2004).

Además, en el estudio de Onyenekwe *et al.* (1999) no se reportó la muerte en ratones alimentados con dosis de 5,000 mg/kg de flor de jamaica durante 14 días. Esto sería lo equivalente a que un hombre de 70 kg comiera 350 g de jamaica al día durante 14 días. Por lo tanto, estos autores estimaron que la dosis letal sería superior a 5,000 mg/kg.

Contraindicaciones y advertencias

La flor de jamaica reduce las concentraciones de glucosa en sangre y, por tanto, podría aumentar el riesgo de hipoglucemia. Debe utilizarse con precaución en niños, ancianos o pacientes con diabetes. Así también, puede disminuir la presión arterial diastólica y sistólica en algunos pacientes, lo que podría aumentar el riesgo de una mayor hipotensión en pacientes hipotensos (RPS, 2024).

Embarazo y lactancia

La evidencia experimental (estudios en animales) sugiere que, a dosis muy altas, *Hibiscus sabdariffa* puede afectar negativamente la fertilidad masculina y femenina y, por lo tanto, evitar su uso durante la lactancia, el embarazo y en aquellas personas que intentan concebir (RPS, 2024).

Interacciones con medicamentos

La flor de jamaica, ingerida como bebida, puede interferir con algunos medicamentos al tener las mismas propiedades, afectar su absorción en el cuerpo o acelerar su eliminación (RPS, 2024). En el Cuadro 1 se muestran algunas interacciones de la flor de jamaica con algunos medicamentos de uso frecuente en la práctica clínica.

Cuadro 1. Interacciones de la flor de jamaica con algunos medicamentos de uso común

Medicamento	Interacción	Detalles de la interacción	Recomendaciones
Medicamentos antihipertensivos	Gravedad = moderada Clasificación de confiabilidad= regular.	La evidencia clínica sugiere que la flor de jamaica reduce la presión arterial, por lo que ingerirlo junto con los medicamentos anti-hipertensivos podría aumentar el riesgo de hipotensión.	Monitorizar el tratamiento. Controlar la disminución excesiva de la presión arterial.
Cloroquina	Gravedad = moderada Clasificación de confiabilidad = buena.	La flor de jamaica puede disminuir los niveles séricos de la cloroquina.	Monitorizar el tratamiento. Monitorear la eficacia reducida de la cloroquina si se combina con flor de jamaica. Las personas que toman cloroquina para el tratamiento o la prevención de la malaria deben evitar el té de flor de jamaica.*
Medicamentos antidiabéticos	Gravedad = moderada.	La flor de jamaica puede reducir los niveles de glucosa en sangre, por lo que ingerirlo junto con medicamentos antidiabéticos podría aumentar el riesgo de hipoglucemia.	Tener cuidado con esta combinación.*
Erlotini	Gravedad: moderada. Clasificación de confiabilidad: pobre.	La flor de jamaica puede potenciar el efecto adverso/tóxico de erlotinib.	Monitorizar el tratamiento. Controlar el aumento de las toxicidades cutáneas de erlotinib si se combina con flor de jamaica.&

Arginina	Gravedad: moderada. Calificación de confiabilidad: regular.	Es probable que esta interacción sólo se aplique al uso crónico de suplementos de arginina y es poco probable que ocurra con dosis únicas de arginina utilizadas con fines de diagnóstico. El mecanismo de esta interacción es por los efectos reductores de la presión arterial de la arginina.	Monitorizar el tratamiento. Controlar las disminuciones excesivas de la presión arterial si la arginina se combina con la flor de Jamaica.&
Simvastatina	Gravedad = menor. Clasificación de confiabilidad: buena.	La flor de jamaica puede disminuir la concentración sérica de simvastatina. Se desconoce el mecanismo de esta interacción, sin embargo, es posible que la jamaica altere la absorción de simvastatina. El significado de esta aparente interacción es incierto.	No se necesita ninguna acción.
Diclofenaco (sistémico)	Gravedad = menor. Clasificación de confiabilidad: buena.	La flor de jamaica puede aumentar la concentración sérica de diclofenaco (sistémico). La importancia clínica de esta aparente interacción es incierta. El mecanismo de esta interacción se desconoce.	No se necesita ninguna acción.
Cafeína	Gravedad = menor. Clasificación de confiabilidad: buena.	La flor de jamaica puede aumentar la concentración sérica de la cafeína y de los productos que contienen cafeína.	No se requiere ninguna acción más allá de las medidas de atención clínica estándar.&

Paracetamol	Gravedad = menor.	Consumir la flor de jamaica antes de tomar paracetamol podría disminuir la vida media del paracetamol, pero no parece disminuir la Cmax o el AUC. Se desconoce la importancia clínica de esto.	Prestar atención a esta combinación**.
-------------	-------------------	--	--

* TRC (Therapeutic Research Center, 2024). NaturalMedicine. Hibiscus sabdariffa, acceso 23 de enero de 2024. Disponible en: <https://naturalmedicines.therapeuticresearch.com/databases/food,-herbs-supplements/professional.aspx?productid=211>.

** MedlinePlus (2024). Hibisco sabdariffa. Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos. Acceso 23 de enero de 2024. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/natural/211.html>. & Lexicomp® Drug Interactions. ©2024 UpToDate. Inc. [acceso 23 de enero de 2024]. Disponible en: https://www.uptodate.com/drug-interactions/?source=responsive_home#di-analyze

Fuente: +modificado de Centro Nacional de Documentación e Información de Medicamentos (Cenadim), 2024. Ficha informativa. Ministerio de Salud de Perú, 1 de febrero de 2024.

Con el conjunto de datos de la información previa podemos concluir que la jamaica es sumamente segura para su consumo como alimento o como medicamento.

Conclusiones

La flor de jamaica es un alimento que desde tiempos ancestrales ha sido utilizada como planta medicinal y como bebida refrescante. En la actualidad se puede considerar un alimento funcional debido a su contenido de compuestos con actividad biológica antioxidante, antiinflamatoria, hipoglucemiante, hipolipemiante, antihipertensiva, diurética, digestiva, anti cáncer, etc. Estas propiedades fisiológicas y farmacológicas de la flor de jamaica la convierten en un tesoro de la botánica, ya que se puede utilizar de forma segura en una gran variedad de enfermedades crónicas no transmisibles. Aunque la flor de jamaica tiene una toxicidad mínima a dosis habituales, se deben considerar algunas interacciones que pueden existir con medicamentos de uso frecuentes y en cierto tipo de pacientes.

Lecturas recomendadas

- Akindahunsi, A. A., & Olaleye, M. T. (2003). Toxicological investigation of aqueous-methanolic extract of the calyces of *Hibiscus sabdariffa* L. *J Ethnopharmacol.*, 89(1), 161-164. doi: 10.1016/s0378-8741(03)00276-9.
- Alarcón-Corredor, O. M. (2009). Los elementos traza. *Revista Médica de la Extensión Portuguesa ULA*, pp. 107-124.
- Ali, B. H., Wabel, N. A., & Blunden, G. (2005). Phytochemical, Pharmacological and Toxicological Aspects of *Hibiscus sabdariffa* L.: A Review. *Phytotherapy Research*, 19, 369-375. doi: 10.1002/ptr.1628.
- Bule, M., Albelbeisid, A. H., Nikfarc, S., Aminia, M., & Abdollahic, M. (2020). The antidiabetic and antilipidemic effects of *Hibiscus sabdariffa*: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *Mohammed Food Research International*, 130, 108980. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.108980>
- Chen, L., Deng, H., Cui, H., Fang, J., Zuo, Z., Deng, J., Li, Y., Wang, X., & Zhao, L. (2017). Inflammatory responses and inflammation-associated diseases in organs. *Oncotarget*, 14;9(6), 7204-7218. doi: 10.18632/oncotarget.23208.
- Cid-Ortega, S., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2012). Propiedades funcionales de la jamaica (*Hibiscus sabdariffa* L.). *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos*, 6(2), 47-63.
- Cuevas, M. A., & Alonso, K. R. (2016). Dislipidemia diabética. *Rev. Med. Clin. Condes*, 27(2) 152-159.
- Deshpande, A. D., Harris-Hayes, M., & Schootman, M. (2008). Epidemiology of diabetes and diabetes-related complications. *Phys Ther.*, 88(11), 1254-1264. doi: 10.2522/ptj.20080020.
- Fakeye, T. (2008). Toxicity and immunomodulatory activity of fractions of *Hibiscus sabdariffa* Linn (family Malvaceae) in animal models. *Afr J Tradit Complement Altern Med.*, 18;5(4), 394-398. PMID: 20161963.
- González-Stuart, A. (2011). Multifaceted Therapeutic Value of Roselle (*Hibiscus Sabdariffa* L. Malvaceae. Chapter 14. En: Watson, R., Gerald, J., & Preedy, V. (Eds.), *Nutrients, Dietary Supplements, and Nutraceuticals* (pp. 215-226). Nueva York: Springer Verlag/Humana.
- Guardiola, S., & Mach, N. (2014). Potencial terapéutico del *Hibiscus sabdariffa*: Una revisión de las evidencias científicas. *Endocrinol Nutr.*, 61(5), 274-295. <http://dx.doi.org/10.1016/j.endonu.2013.10.012>

- Gurrola-Díaz, C. M., García-López, P. M., Sánchez-Enríquez, S., Troyo-Sanromán, R., Andrade-González, I., & Gómez-Leyva, J. F. (2010). Effects of Hibiscus sabdariffa extract powder and preventive treatment (diet) on the lipid profiles of patients with metabolic syndrome (MeSy). *Phytomedicine*, 17(7), 500-505. doi: 10.1016/j.phymed.2009.10.014.
- Hernández-Alcaraz, C., Aguilar-Salinas, C. A., Mendoza-Herrera, K., Pedroza-Tobías, A., Villalpando, S., Shamah-Levy, T., Rivera-Dommarco, J., Hernández-Ávila, M., & Barquera, S. (2020). Dyslipidemia prevalence, awareness, treatment and control in Mexico: Results of the Ensanut 2012. *Salud Pública de México*, 62(2), 137-146. <https://doi.org/10.21149/10520>
- Iza, Emily. (2020). *Beneficios de la flor de jamaica para la salud*.
- Jabeur, I., Pereira, E., Barros, L., Calhelha, R. C., Soković, M., Oliveira, M. B., & Ferreira, I. C. (2017). Hibiscus sabdariffa L. as a source of nutrients, bioactive compounds and colouring agents. *Food Research International*. doi: 10.1016/j.foodres.2017.07.073.
- Kawahito, S., Kitahata, H., & Oshita, S. (2009). Problems associated with glucose toxicity: Role of hyperglycemia-induced oxidative stress. *World J Gastroenterol*, 7;15(33), 4137-4142. doi: 10.3748/wjg.15.4137.
- MedlinePlus. (2024). *Hibisco sabdariffa*. Biblioteca Nacional de Medicina de los Estados Unidos. Acceso 23 de enero de 2024. Disponible en: <https://medlineplus.gov/spanish/druginfo/natural/211.html>
- New Jersey Agricultural Experiment Station. (2018). Recuperado el 27 de julio de 2024 de: <https://njaes.rutgers.edu/fs1298/#:~:text=Introduction,subtropical%20countries%20around%20the%20world>
- Onyenekwe, P. C., Ajani, E. O., Ameh, D. A., & Gamaniel, K. S. (1999). Antihypertensive effect of roselle (Hibiscus sabdariffa) calyx infusion in spontaneously hypertensive rats and a comparison of its toxicity with that in Wistar rats. *Cell Biochem Funct.*, 17(3): 199-206. doi: 10.1002/(sici)1099-0844(199909)17:3<199::AID-CBF829>3.0.CO;2-2. PMID: 10451541.
- Orisakwe, O. E., Husaini, D. C., & Afonne, O. J. (2004). Testicular effects of sub-chronic administration of Hibiscus sabdariffa calyx aqueous extract in rats. *Reprod Toxicol.*, 18(2), 295-298. doi: 10.1016/j.reprotox.2003.11.001.
- Prommetta, P., Phivthong-ngam, L., Chaichantipyuth, C., Niwattisaiwong, N., & Lawanprasert, S. (2006). Aqueous extract of the calyces of Hibiscus subdariffa Linn: Effects on hepatic cytochrome P450 and subacute toxicity in rats. *Thai J. Pharm. Sci.*, 30, 8-18.

- Putra, I. B., Soebono, H., Hadisahputra, S., & Bachtiar, A. (2020). The Effect of Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.) Flowers Extract on the Apoptosis of Fibroblast Proliferation in Keloids. *Open Access Maced J Med Sci.*, 20;8(A), 611-614.
- Reddy, V. P. (2023). Oxidative Stress in Health and Disease. *Biomedicines*, 29;11(11), 2925. doi: 10.3390/biomedicines11112925. PMID: 38001926; PMCID: PMC10669448.
- Royal Pharmaceutical Society (RPS). (2024). *Herbal Medicines. Hibiscus. Medicines Complete*. Acceso 23 de junio de 2024. Disponible en: <https://www.new.medicinescomplete.com/#/>
- Sáyago-Ayerdi, S. G., & Goñi, I. (2010). Hibiscus sabdariffa L: Fuente de fibra antioxidante. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 60(1), 79-84. Recuperado el 27 de julio de 2024, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222010000100012&lng=es&tlng=es
- Sindi, H. A., Marshall, L. J., & Morgan, M. R. A. (2014). Comparative chemical and biochemical analysis of extracts of Hibiscus sabdariffa. *Food Chemistry*, 164, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.097>
- Sireeratawong, S., Itharat, A., Khonsung, P., Lertprasertsuke, N., & Jaijoy, K. (2013). Toxicity Studies of The Water Extract from The Calyces of *Hibiscus Sabdariffa* l. In Rats. *Afr J Tradit Complement Altern Med.*, 10(4), 122-127. <http://dx.doi.org/10.4314/ajtcam.v10i4.20>
- Therapeutic Research Center (TRC). (2024). *NaturalMedicine. Hibiscus sabdariffa*. Acceso 23 de enero de 2024. Disponible en: <https://naturalmedicines.therapeuticresearch.com/databases/food,-herbs-supplements/professional.aspx?productid=211>
- Venkatesan, K., Venkatesan, S., & Manivannan, N. (2024). Antibacterial Activity of Hibiscus sabdariffa (Rosella) Using Methanolic Extract. *Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences*, 16(Suppl 2), S1191-S1194. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_527_23
- Wang, D., Nagata, M., Matsumoto, M., Amen, Y., Wang, D., & Shimizu, K. (2022). Potential of *Hibiscus sabdariffa* L. and Hibiscus Acid to Reverse Skin Aging. *Molecules*, 17;27(18), 6076. doi: 10.3390/molecules27186076.

Medicamentos: uso inteligente para una salud óptima

DANIEL OSMAR SUÁREZ RICO*

La importancia del uso racional de medicamentos

En el mundo moderno los medicamentos cumplen un papel crucial en la prevención, tratamiento y cura de diversas enfermedades. Desde un simple analgésico hasta complejos tratamientos para enfermedades crónicas. Los medicamentos nos permiten llevar una vida más saludable y prolongada. Sin embargo, con el gran poder de estos medicamentos viene también una gran responsabilidad: el uso racional de los mismos.

El uso racional de medicamentos (URM) se refiere a la correcta y segura administración de fármacos, fundamentada en principios científicos y médicos. Este enfoque incluye no sólo la selección apropiada del medicamento, sino también la dosificación adecuada, la duración correcta del tratamiento y la reducción de efectos secundarios. El uso inadecuado de medicamentos puede tener consecuencias graves, como la aparición de resistencia a los antibióticos, efectos adversos innecesarios y un incremento en los costos de atención médica (Organization, 2015).

* Departamento de Fisiología, Centro Universitario de Ciencias de la Salud, Universidad de Guadalajara, México.

Impacto en la salud pública e individual

La falta de un URM no sólo afecta a la persona que se está automedicando, sino también a la sociedad en su conjunto. Por ejemplo, el abuso y el uso indebido de los antibióticos han llevado a la aparición de lo que ahora llamamos “superbacterias”, las cuales son resistentes a una alta variedad de tratamientos que tenían muchos años siendo efectivos. Esto representa una amenaza global, pues enfermedades que antes eran fácilmente tratables ahora se han vuelto difíciles, y en algunos casos imposibles de curar (Llor & Bjerrum, 2014).

A nivel personal, el uso incorrecto de medicamentos puede resultar en efectos adversos que pueden comprometer la salud de uno mismo. Desde una reacción alérgica, hasta interacciones entre medicamentos o incluso alimentos que pueden llegar a ser peligrosas. Además, cuando uno incumple el tratamiento puede llevar a la recurrencia de enfermedades, complicaciones y una peor calidad de vida (Health & Excellence, 2015).

¿Cuándo hay un uso irracional de medicamentos?

1. Medicación sin asesoramiento profesional (automedicación).

Una gran cantidad de personas toman medicamentos sin consultar a un médico o farmacéutico, basándose en recomendaciones de amigos o familiares. Esto puede llevar a la administración de dosis incorrectas o a la utilización de medicamentos inapropiados para la condición tratada (Ofori-Asenso & Agyeman, 2016).

2. Uso inadecuado de antibióticos.

Tomar antibióticos para tratar infecciones virales, como el resfriado común o la gripe, no sólo es ineficaz, sino que también contribuye a la resistencia bacteriana.

3. Interrupción prematura del tratamiento (Organization, 2015).

Suspender un medicamento antes de completar el curso prescrito, especialmente en el caso de antibióticos, puede resultar en que la enfermedad reaparezca y seguimos contribuyendo a la resistencia bacteriana (Pharmacists, 2018).

Objetivos del capítulo

Este capítulo tiene como objetivo educar al público sobre la importancia del uso racional de medicamentos. Al entender mejor cómo funcionan los medicamentos y cómo deben ser utilizados, los lectores podrán tomar decisiones informadas que mejoren su salud y bienestar. Los objetivos específicos incluyen:

- Informar sobre los principios básicos del uso racional de medicamentos.
- Promover la automedicación responsable y la adherencia a los tratamientos prescritos.
- Proporcionar herramientas y recursos para que los lectores puedan identificar y prevenir el uso irracional de medicamentos.

Al finalizar este capítulo esperamos que los lectores se sientan capacitados para utilizar los medicamentos de manera más segura y eficaz, contribuyendo así a una mejor salud individual y comunitaria.

Conceptos básicos en la farmacia

¿Qué es un medicamento?

Un medicamento es una sustancia o combinación de sustancias que se utiliza para diagnosticar, prevenir, tratar o curar enfermedades y condiciones médicas. Los medicamentos se dividen en varias categorías:

- *Medicamentos de venta libre (OTC, por sus siglas en inglés).* Estos medicamentos no requieren una receta médica y se utilizan para tratar afecciones menores como dolores de cabeza, resfriados y alergias. Ejemplos comunes incluyen el ibuprofeno y la loratadina.
- *Medicamentos con receta.* Estos medicamentos requieren una receta de un profesional de la salud. Se utilizan para tratar condiciones más graves y crónicas como infecciones, hipertensión y diabetes. Ejemplos incluyen los antibióticos, los medicamentos para la presión arterial y la insulina.
- *Medicamentos genéricos.* Son versiones equivalentes de medicamentos de marca que contienen el mismo principio activo y tienen el mismo efecto terapéutico. Suelen ser más económicos debido a que no incluyen los costos de desarrollo e investigación que implican los medicamentos originales.
- *Medicamentos de marca.* Éstos son medicamentos desarrollados y comercializados por una compañía farmacéutica específica bajo una patente. Los medicamentos de marca suelen ser más caros debido a los costos de investigación, desarrollo y *marketing* asociados.

¿Cómo funcionan los medicamentos en el cuerpo?

Los medicamentos actúan a través de dos procesos principales: la farmacocinética y la farmacodinámica. En términos generales lo podemos definir como: farmacocinética es lo que el cuerpo le hace al medicamento, y la farmacodinamia es lo que el medicamento le hace al cuerpo.

1. *Farmacocinética*. Se refiere a cómo el cuerpo responde cuando un fármaco entra en él, y éste cómo lo lleva al lugar donde debe trabajar. Este proceso incluye cuatro fases:
 - *Absorción*. Proceso mediante el cual el medicamento entra en el torrente sanguíneo desde el sitio de administración (por ejemplo, estómago, piel).
 - *Distribución*. Una vez en el torrente sanguíneo, el medicamento se distribuye a diferentes tejidos y órganos.
 - *Metabolismo*. El cuerpo descompone el medicamento, generalmente en el hígado, para facilitar su eliminación.
 - *Eliminación*. El medicamento y sus metabolitos se excretan del cuerpo, principalmente a través de los riñones (orina) o el tracto gastrointestinal (heces).
2. *Farmacodinámica*. Se refiere a cómo el medicamento va a actuar en el cuerpo una vez que llega al sitio de acción. Este proceso involucra la interacción del medicamento con puntos específicos (los denominaremos receptores) en el cuerpo para producir un efecto terapéutico. Por ejemplo, los analgésicos como el ibuprofeno inhiben las enzimas responsables de la producción de prostaglandinas, reduciendo así el dolor y la inflamación (Katzung *et al.*, 2018).

Principios del uso racional de medicamentos

El uso racional de medicamentos se basa en varios principios fundamentales que garantizan la seguridad y eficacia del tratamiento.

- *La selección adecuada del medicamento*. Es de suma importancia elegir el medicamento correcto para la condición específica del paciente, basándose en la evidencia científica y las guías clínicas. Esto incluye considerar factores como la eficacia, la seguridad e incluso el costo del mismo medicamento (Organization, 2015).

- *La dosificación correcta.* Un factor que muchas veces se deja de lado es cómo dar una dosificación correcta. Es vital administrar la dosis correcta para asegurar que el medicamento sea eficaz sin causar efectos adversos. La dosificación se determina en función de factores como la edad, el peso, la función renal y hepática del paciente, y la gravedad de la enfermedad (Health & Excellence, 2015).
- *La duración adecuada del tratamiento.* El tratamiento debe continuar el tiempo necesario para asegurar la resolución de la enfermedad o el control de la condición, evitando el uso prolongado innecesario que podría llevar a efectos secundarios o resistencia a los medicamentos (Llor & Bjerrum, 2014).
- *Minimización de efectos secundarios.* Es importante vigilar y gestionar los posibles efectos adversos asociados con el uso de medicamentos. Esto incluye ajustar la dosis, cambiar el medicamento si es necesario, y proporcionar información adecuada al paciente sobre cómo reconocer y manejar los efectos secundarios (Pharmacists, 2018).

Entonces, ¿cómo me debo tomar mis medicamentos?

Hay que tener en cuenta y entender que, si bien un mal uso de los medicamentos nos puede llevar a muchos efectos adversos que pueden desencadenar varios problemas de salud, éstos también nos han llevado a curar y mejorar la calidad de una gran cantidad de pacientes. Pero para poder sacarle provecho a esto, hay que aprender varias cosas, desde ¿cómo leer y entender las etiquetas?, hasta entender ¿qué es lo que dice la receta?

Cuando adquieres un medicamento, es fundamental que te tomes el tiempo para leer la etiqueta y el manual que lo acompaña. Estos documentos nos van a indicar información importante para asegurar el uso seguro y efectivo del medicamento. Aquí te mostramos algunos de los elementos clave que debes buscar:

- *Nombre del medicamento.* Incluye tanto el nombre genérico como el de marca. Conocer ambos nombres puede ayudarte a evitar duplicaciones de medicamentos que contengan el mismo principio activo, ya que hay muchos medicamentos de marca que simplemente son lo mismo que el genérico, pero con diferente nombre.
- *Principio activo.* Es la sustancia que produce el efecto terapéutico, a éste lo llamaremos fármaco. Saber cuál es te permitirá identificar posibles interacciones y alergias.

- *Indicaciones.* Aquí se describen las enfermedades o condiciones para las cuales está indicado el medicamento. Asegúrate de que corresponda a tu situación.
- *Dosis y administración.* Instrucciones precisas sobre cómo tomar el medicamento, incluyendo la dosis, frecuencia y duración del tratamiento (Katzung *et al.*, 2018).
- *Contraindicaciones.* Situaciones o condiciones en las que no se debe usar el medicamento, como ciertas enfermedades o interacciones con otros medicamentos.
- *Advertencias y precauciones.* Información sobre posibles efectos adversos y consejos para minimizar riesgos.
- *Interacciones medicamentosas.* Lista de otros medicamentos, alimentos o bebidas que pueden afectar la eficacia o seguridad del medicamento.
- *Efectos secundarios.* Posibles reacciones adversas que podrías experimentar.

1. Interpretación de términos comunes

Al leer un manual de un medicamento, es posible que encuentres términos médicos que no son familiares. Aquí tienes algunas definiciones básicas para ayudarte:

- *Posología.* Qué tanto y cada cuándo es lo recomendado que debes tomar el medicamento.
- *Efecto adverso.* Reacción no deseada que puede ocurrir al tomar el medicamento.
- *Contraindicación.* Condición específica en la que no se debe usar el medicamento.
- *Interacción.* Modificación en el efecto del medicamento causada por la presencia de otro medicamento, alimento o bebida.

2. Interacciones medicamentosas

¿Qué son y por qué importan?

Las interacciones entre medicamentos ocurren cuando un medicamento afecta la actividad de otro al administrarse juntos. Estas interacciones pueden aumentar o disminuir la efectividad del medicamento, o aumentar el riesgo de efectos secundarios. Entender y prevenir estas interacciones es crucial para el uso seguro de los medicamentos (Lacy *et al.*, 2017).

Ejemplos comunes de interacciones peligrosas

- *Antibióticos y anticonceptivos orales.* Algunos antibióticos pueden reducir la eficacia de las píldoras anticonceptivas, aumentando el riesgo de embarazo no deseado.
- *Warfarina y alimentos ricos en vitamina K.* La vitamina K puede disminuir el efecto anticoagulante de la warfarina, aumentando el riesgo de coágulos sanguíneos.
- *Inhibidores de la monoamino oxidasa (IMAO) y alimentos ricos en tiramina.* Comer alimentos como quesos añejos y embutidos mientras se toman IMAO como la fenelzina (nardil) puede causar una peligrosa elevación de la presión arterial.

¿Cómo evitarlas?

- *Consulta con tu médico o farmacéutico.* Siempre informa a tu médico o farmacéutico sobre todos los medicamentos y suplementos que estás tomando.
- *Lee las etiquetas y manuales.* Busca información sobre posibles interacciones en el manual del medicamento.

3. Adherencia al tratamiento

Importancia de seguir las indicaciones del médico

Seguir las indicaciones del médico al pie de la letra es fundamental para el éxito del tratamiento. La falta de adherencia puede llevar a una menor efectividad del tratamiento, empeoramiento de la enfermedad y aumento del riesgo de efectos secundarios. Una adherencia adecuada asegura que los niveles del medicamento en tu cuerpo sean constantes y efectivos (Brown & Bussell, 2017).

Consejos para mejorar la adherencia

1. *Usa alarmas y recordatorios.* Configura alarmas en tu teléfono o utiliza aplicaciones diseñadas para recordarte cuándo debes tomar tu medicamento.
2. *Organizadores de pastillas.* Estos dispositivos pueden ayudarte a organizar tus medicamentos por días y horarios, reduciendo la posibilidad de olvidar dosis.

3. *Involucra a familiares o amigos.* Pide a alguien de confianza que te ayude a recordar tus medicamentos.
4. *Habla con tu médico.* Si tienes problemas para seguir tu tratamiento, informa a tu médico para que pueda ofrecerte soluciones, cómo ajustar el régimen o cambiar la forma del medicamento (Sabate, 2003).

Automedicación responsable

¿Cuándo es apropiado y cuándo no debo automedicarme?

La automedicación puede ser apropiada en el tratamiento de afecciones menores y de corta duración que no requieren supervisión médica. Algunos ejemplos de estas afecciones incluyen:

- Dolor de cabeza ocasional.
- Resfriado común.
- Acidez estomacal.
- Pequeñas heridas o raspaduras.

Para estos casos, el uso de medicamentos de venta libre, como analgésicos (ibuprofeno), antigripales (paracetamol con fenilefrina) o antiácidos (bicarbonato de sodio) puede ser suficiente y seguro si se siguen las indicaciones del producto.

Sin embargo, hay afecciones que son graves y requieren atención médica. Algunos ejemplos de situaciones en las que no se debe recurrir a la automedicación incluyen:

- Dolor de pecho, que podría ser señal de un problema cardíaco.
- Fiebre alta persistente.
- Dificultad para respirar.
- Dolor abdominal severo o persistente.
- Síntomas neurológicos, como debilidad súbita en un lado del cuerpo, confusión o pérdida de conciencia.

Estas condiciones pueden ser indicativas de problemas de salud graves que necesitan diagnóstico y tratamiento por un profesional de la salud.

¿Qué señales son de alarma y requieren atención médica?

Es importante reconocer las señales de alarma que indican la necesidad de buscar atención médica. Algunas de estas señales incluyen:

- *Fiebre alta y/o persistente.* Una fiebre que dura más de tres días o es extremadamente alta (por encima de 39° C).
- *Dolor intenso o crónico.* Dolor que no mejora con el tratamiento o que es severo.
- *Cambios en el estado mental.* Confusión, cansancio excesivo o cambios de comportamiento.
- *Dificultad para respirar.* Respiración rápida, sonidos de silbido (sibilancias) o sensación de falta de aire.
- *Reacciones alérgicas graves.* Hinchazón de la cara, labios, lengua o garganta, que puede causar dificultad para respirar (anafilaxia).
- *Sangrado.* Sangrado abundante o persistente que no se detiene con presión directa.

Riesgos de la automedicación inadecuada

Te presentaré unos ejemplos de casos reales y las consecuencias de pacientes que se automedicaron cuando no debían de hacerlo, lo que los llevó a graves consecuencias para su salud.

- *Uso indebido de antibióticos.* Tomar antibióticos sin prescripción médica para tratar infecciones virales, como el resfriado o la gripe, no sólo es ineficaz, sino que también contribuye al desarrollo de resistencia bacteriana. Esto puede hacer que las infecciones bacterianas futuras sean más difíciles de tratar (Ventola, 2015).
- *Sobredosis de analgésicos.* El uso excesivo de analgésicos de venta libre, como el paracetamol o el ibuprofeno, puede causar daños severos al hígado o a los riñones. Un caso documentado es el de una mujer joven que desarrolló insuficiencia hepática aguda por consumir dosis altas de paracetamol durante varios días para aliviar el dolor de cabeza (Larsen, 2016).
- *Interacciones medicamentosas peligrosas.* La automedicación sin conocimiento adecuado puede llevar a interacciones medicamentosas peligrosas. Por ejemplo, combinar anticoagulantes como la warfarina con antiinflamatorios no esteroideos (AINES) puede aumentar el riesgo de sangrado grave (Rodrigues *et al.*, 2016).

Medicamentos y poblaciones especiales

El uso de medicamentos en poblaciones especiales, como niños, adultos mayores, y mujeres embarazadas o en periodo de lactancia, no es tan sencillo como un adulto sano o un joven en pleno apogeo de su vida. El uso de éstos requiere consideraciones específicas para asegurar su eficacia y seguridad. Estas poblaciones presentan características fisiológicas únicas que pueden alterar la forma en que los medicamentos son absorbidos, distribuidos, metabolizados y eliminados en el cuerpo. A continuación se analizan las particularidades y precauciones necesarias para el manejo adecuado de medicamentos en estas poblaciones.

1. Niños

Consideraciones específicas:

El tratamiento de enfermedades en niños requiere una atención especial debido a las diferencias en su fisiología en comparación con los adultos. Los niños no son simplemente “adultos pequeños”; sus cuerpos procesan los medicamentos de manera diferente. Por ejemplo, los sistemas de órganos en desarrollo pueden afectar la absorción, distribución, metabolismo y excreción de los medicamentos, haciendo que éstos no puedan llegar a funcionar de manera correcta (Kearns *et al.*, 2014).

Dosificación y seguridad:

La dosificación en pediatría a menudo se basa en el peso corporal o la superficie corporal del niño. Es crucial seguir las pautas específicas para asegurar que el medicamento sea efectivo y seguro. La administración de dosis incorrectas puede llevar a efectos secundarios graves o a la falta de efectividad del tratamiento. Además, algunos medicamentos que son seguros para los adultos pueden no serlo para los niños, y viceversa. Por ejemplo, la aspirina no se recomienda para niños debido al riesgo de síndrome de Reye, una enfermedad rara pero grave (Yin *et al.*, 2015).

2. Adultos mayores

Cambios fisiológicos y su impacto en la farmacología:

A medida que las personas envejecen, experimentan cambios fisiológicos que pueden afectar cómo los medicamentos actúan en su cuerpo. Estos cambios

incluyen una disminución en la función renal y hepática, una reducción en la masa muscular y un aumento en la proporción de grasa corporal. Estos factores pueden influir en la absorción, metabolismo y eliminación de los medicamentos, aumentando el riesgo de efectos secundarios y toxicidad (Mangoni & Jackson, 2017).

Polifarmacia y su manejo

La polifarmacia, o el uso de múltiples medicamentos simultáneamente, es común en adultos mayores debido a la prevalencia de enfermedades crónicas en esta población. La polifarmacia aumenta el riesgo de interacciones medicamentosas y efectos adversos. Para manejar la polifarmacia, es esencial revisar regularmente todos los medicamentos de un paciente, simplificar los regímenes de medicación cuando sea posible y utilizar herramientas como los criterios de Beers, que ayudan a identificar medicamentos potencialmente inapropiados para adultos mayores (Maher *et al.*, 2014).

3. Embarazo y lactancia

Medicamentos seguros y no seguros:

Durante el embarazo y la lactancia, el uso de medicamentos debe ser cuidadosamente considerado debido a los posibles efectos en el feto o el bebé lactante. Algunos medicamentos pueden atravesar la placenta o ser excretados en la leche materna, lo que puede afectar al desarrollo del bebé. Los medicamentos se clasifican en categorías de riesgo para el embarazo, que ayudan a los médicos a determinar qué medicamentos son seguros de usar (Briggs *et al.*, 2017).

Principios de precaución

Es fundamental seguir ciertos principios de precaución al administrar medicamentos a mujeres embarazadas o lactantes:

1. *Evaluar la necesidad.* Sólo se deben usar medicamentos si el beneficio potencial justifica el riesgo para el feto o el bebé.
2. *Elegir alternativas seguras.* Siempre que sea posible, se deben preferir los medicamentos con un historial de uso seguro durante el embarazo y la lactancia.

3. *Dosificación adecuada.* Ajustar la dosificación según sea necesario para minimizar el riesgo mientras se mantiene la efectividad del tratamiento.
4. *Monitoreo.* Supervisar de cerca a la madre y al bebé para detectar cualquier efecto adverso potencial y ajustar el tratamiento según sea necesario (Hale & Rowe, 2017).

Efectos adversos. ¿Cómo manejarlos y prevenirlos?

1. Identificación y reporte

Cómo reconocer un efecto adverso:

Los efectos adversos son reacciones no deseadas que pueden ocurrir al tomar un medicamento. Estos efectos pueden variar desde leves hasta graves y pueden aparecer de inmediato o después de un tiempo de uso. Reconocer un efecto secundario es fundamental para poder tomar medidas adecuadas a tiempo. Algunos signos comunes de efectos secundarios incluyen:

- *Problemas gastrointestinales.* Náuseas, vómitos, diarrea, estreñimiento.
- *Reacciones cutáneas.* Erupciones, picazón, enrojecimiento, hinchazón, enrojecimiento.
- *Problemas neurológicos.* Mareos, dolor de cabeza, somnolencia, insomnio.
- *Reacciones alérgicas.* Urticaria, hinchazón de la cara, labios, lengua o garganta, dificultad para respirar.

Es crucial leer siempre el manual del medicamento para conocer los posibles efectos secundarios y estar alerta a cualquier síntoma inusual. Si experimentas un efecto secundario, debes evaluarlo y determinar si es leve y manejable en casa o si requiere atención médica inmediata (Edwards & Aronson, 2000).

Procedimientos para reportar efectos adversos

Ya tuve un efecto adverso al tomarme un medicamento. Ahora, ¿qué tengo que hacer? Reportar los efectos adversos es esencial para mejorar la seguridad de los medicamentos y proteger la salud pública. Aquí tienes los pasos para reportar un efecto adverso:

- *Contactar a tu médico.* Informa a tu médico sobre los síntomas que estás experimentando. Ellos podrán aconsejarte sobre cómo manejar el efecto secundario y si es necesario ajustar la dosis o cambiar el medicamento.

- *Reportar al farmacéutico.* Los farmacéuticos también pueden proporcionar orientación sobre cómo manejar los efectos secundarios y pueden reportar los eventos adversos al sistema de farmacovigilancia.
- *Usar sistemas de reporte de efectos adversos.* En muchos países existen sistemas oficiales para reportar efectos adversos, como el Sistema de Notificación de Eventos Adversos de la Cofepris. Puedes encontrar formularios de reporte en línea en el sitio web de esta institución.

Reportar los efectos secundarios no sólo ayuda a mejorar tu propio tratamiento, sino que también contribuye a la seguridad de otros pacientes (Hazell & Shakir, 2006).

2. Manejo de efectos secundarios comunes

Estrategias para aliviar síntomas menores:

Para muchos efectos secundarios menores, hay estrategias simples que pueden ayudar a aliviar los síntomas:

- *Náuseas y vómitos.* Comer comidas pequeñas y frecuentes, evitar alimentos grasos o picantes, y beber líquidos claros como agua o caldo.
- *Diarrea.* Beber mucho líquido para evitar la deshidratación y consumir alimentos suaves como arroz, plátanos y tostadas.
- *Estreñimiento.* Aumentar la ingesta de fibra en la dieta, beber mucha agua y hacer ejercicio regularmente.
- *Dolores de cabeza.* Descansar en un lugar oscuro y tranquilo, aplicar compresas frías en la frente y tomar analgésicos de venta libre como el paracetamol o el ibuprofeno, siguiendo las instrucciones del manual.

¿Cuándo buscar ayuda médica?

Es importante saber cuándo un efecto secundario requiere atención médica. Debes buscar ayuda médica inmediata si experimentas:

- *Reacciones alérgicas graves.* Dificultad para respirar, hinchazón de la cara, labios, lengua o garganta, urticaria.
- *Dolor en el pecho.* Podría ser un signo de un problema cardíaco grave.
- *Síntomas neurológicos severos.* Confusión, convulsiones, pérdida de la conciencia.

- *Sangrado inusual o severo.* Sangrado prolongado o excesivo que no se detiene con presión directa.
- *Fiebre alta persistente.* Fiebre que no disminuye con medicamentos antipiréticos o que dura más de tres días.

En estos casos, es crucial buscar atención médica de inmediato para recibir el tratamiento adecuado y prevenir complicaciones graves (Organization, 2015).

Recursos y herramientas para el público

Fuentes confiables de información

En la era digital es fundamental acceder a fuentes confiables de información sobre medicamentos para asegurar un uso seguro y efectivo. A continuación se presentan algunas de las fuentes más respetadas y útiles que pueden ayudar a los pacientes a obtener información precisa sobre sus tratamientos.

MedlinePlus. Operado por la Biblioteca Nacional de Medicina de Estados Unidos, MedlinePlus proporciona información clara y comprensible sobre medicamentos, afecciones y tratamientos. Es una fuente excelente para obtener información actualizada y confiable.

- Sitio web: <https://medlineplus.gov>

Mayo Clinic. La Mayo Clinic es una organización sin fines de lucro dedicada a la práctica clínica, la educación y la investigación. Su sitio web ofrece una amplia gama de recursos sobre salud, incluyendo detalles sobre medicamentos, efectos secundarios y tratamientos.

- Sitio web: <https://www.mayoclinic.org/>

Drugs.com. Este sitio ofrece una base de datos completa sobre medicamentos, incluyendo información sobre interacciones, efectos secundarios y guías de dosificación. También tiene herramientas como un identificador de píldoras y un comprobador de interacciones.

- Sitio web: <https://drugs.com>

FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de EUA). La FDA regula la seguridad de los alimentos, medicamentos y productos médicos en Estados Unidos. Su sitio web proporciona información detallada sobre la aprobación de medicamentos, alertas de seguridad y guías para el uso de medicamentos.

- Sitio web: <https://www.fda.gov/about-fda/fda-en-espanol>
Organización Mundial de la Salud (OMS). La OMS ofrece recursos globales sobre la salud, incluyendo directrices y políticas para el uso racional de medicamentos.
- Sitio web: <https://www.who.int/>

Cómo distinguir fuentes confiables

No todas las fuentes de información en Internet son confiables. Para asegurarte de que estás obteniendo información de calidad, considera estos factores:

- *Autoría*. Verifica quién escribe el contenido. Fuentes confiables generalmente son escritas por profesionales de la salud o instituciones respetadas.
- *Fecha de publicación*. La información médica evoluciona rápidamente. Asegúrate de que los artículos estén actualizados.
- *Referencias y citaciones*. Las fuentes confiables citan estudios y referencias para respaldar sus afirmaciones.
- *Propósito del sitio web*. Ten cuidado con los sitios que parecen tener un interés comercial en lugar de educativo. Los sitios de instituciones académicas, gubernamentales y sin fines de lucro suelen ser más fiables.

Comunicación con profesionales de la salud

Una comunicación efectiva con los profesionales de la salud es clave para el uso seguro de los medicamentos. Aquí tienes algunos consejos para maximizar tus interacciones con médicos y farmacéuticos:

- *Prepara tus preguntas*. Antes de tu cita, anota cualquier pregunta o preocupación que tengas sobre tu medicamento (al momento de la consulta se nos olvida qué íbamos a preguntar).
- *Sé claro y conciso*. Explica tus síntomas y antecedentes médicos de manera clara y concisa (a veces cuesta trabajo al médico interpretar los síntomas cuando no sabemos expresar lo que queremos decir).
- *Informa sobre todos los medicamentos*. Asegúrate de que tu médico o farmacéutico sepa sobre todos los medicamentos que estás tomando, incluidos los suplementos y medicamentos de venta libre.

- *Solicita clarificaciones.* No dudes en pedir que te expliquen de nuevo cualquier cosa que no entiendas. Es crucial que comprendas bien cómo tomar tu medicamento.
- *Usa herramientas de comunicación.* Las aplicaciones de salud y los portales en línea pueden facilitar la comunicación con tu equipo de salud y permitirte hacer un seguimiento de tus medicamentos y citas.

Importancia de la historia clínica completa y precisa

Mantener una historia clínica completa y precisa es esencial para recibir el mejor cuidado posible. Asegúrate de incluir la siguiente información en tu historial:

- *Medicamentos actuales y pasados.* Lista de todos los medicamentos que estás tomando o has tomado recientemente.
- *Alergias y reacciones adversas.* Cualquier alergia conocida a medicamentos y reacciones adversas que hayas experimentado.
- *Enfermedades crónicas y condiciones médicas.* Información sobre cualquier enfermedad crónica que padezcas, como diabetes o hipertensión.
- *Antecedentes familiares.* Información relevante sobre la salud de tus familiares, especialmente si hay enfermedades hereditarias.

Mantener esta información actualizada y compartirla con tus profesionales de la salud puede ayudar a prevenir errores médicos y asegurar que recibas el tratamiento más adecuado (Medicine, 2001).

Conclusión

El uso racional de medicamentos es esencial para garantizar la seguridad y efectividad del tratamiento, especialmente en un mundo donde la automedicación y el acceso a la información médica son comunes. A lo largo de este capítulo hemos explorado la importancia de comprender cómo funcionan los medicamentos, reconocer y manejar los efectos secundarios, y mantener una comunicación efectiva con los profesionales de la salud.

En el caso de los niños y adolescentes, la dosificación y seguridad son cruciales debido a sus diferencias fisiológicas. Para los adultos mayores, los cambios fisiológicos y la prevalencia de polifarmacia requieren un manejo cuidadoso para evitar interacciones medicamentosas y efectos adversos. Las mujeres em-

barazadas y lactantes deben tener especial cuidado al tomar medicamentos para evitar riesgos a los fetos y bebés.

La identificación y reporte de efectos secundarios es vital para la seguridad del paciente y para mejorar la vigilancia farmacológica. La disponibilidad de recursos y herramientas confiables, como MedlinePlus y Mayo Clinic, puede proporcionar información precisa y actualizada para el público. Además, mantener una historia clínica completa y precisa, y una comunicación abierta con los profesionales de la salud, es fundamental para recibir un tratamiento adecuado y prevenir errores médicos.

En resumen, el conocimiento y la educación sobre el uso racional de medicamentos empoderan a los pacientes para tomar decisiones informadas sobre su salud, mejorar la adherencia al tratamiento y minimizar los riesgos asociados con la medicación. Promover una cultura de responsabilidad y educación continua sobre el uso de medicamentos no sólo beneficia a los individuos, sino también a la sociedad en su conjunto, al reducir la carga de enfermedades y mejorar los resultados de salud.

Mantente informado, comunícate abiertamente con tus profesionales de la salud y utiliza los recursos disponibles para asegurar que tú y tus seres queridos usen los medicamentos de manera segura y efectiva.

Lecturas recomendadas

- Briggs, G. G., Freeman, R. K., & Towers, C. V. (2017). *Drugs in pregnancy and lactation: A reference guide to foetal and neonatal risk*. Lippincott Williams & Wilkins.
- Brown, M. T., & Bussell, J. K. (2017). Medication adherence: Who cares? *Mayo Clinic Proceedings*, 86(4), 304-314.
- Edwards, I. R., & Aronson, J. K. (2000). Adverse drug reactions: Definitions, diagnosis, and management. *The Lancet*, 356(9237), 1255-1259.
- Hale, T. W., & Rowe, H. E. (2017). *Medications and mothers' milk*. Springer Publishing Company.
- Hazell, L., & Shakir, S. A. (2006). Under-reporting of adverse drug reactions: A systematic review. *Drug Safety*, 29(5), 385-396.
- Health, N. I. f., & Excellence, C. (2015). *Medicines Optimisation: The Safe and Effective Use of Medicines to Enable the Best Possible Outcomes*. *NICE Guideline*, marzo.

- Katzung, B. G., Masters, S. B., & Trevor, A. J. (2018). *Basic & Clinical Pharmacology* (14ª edición). McGraw-Hill Education.
- Kearns, G. L., Abdel-Rahman, S. M., Alander, S. W., Blowey, D. L., Leeder, J. S., & Kauffman, R. E. (2014). Developmental pharmacology: Drug disposition, action, and therapy in infants and children. *New England Journal of Medicine*, 349(12), 1157-1167.
- Lacy, C. F., Armstrong, L. L., Goldman, M. P., & Lance, L. L. (2017). *Drug Information Handbook*. Lexicomp.
- Larsen, F. S. (2016). Paracetamol overdose. *British Medical Journal*, 353, 3304. <https://doi.org/10.1136/bmj.i3304>
- Llor, C., & Bjerrum, L. (2014). Antimicrobial resistance: Risk associated with antibiotic overuse and initiatives to reduce the problem. *Therapeutic Advances in Drug Safety*, 5(6), 229-241.
- Maher, R. L., Hanlon, J. T., & Hajjar, E. R. (2014). Clinical consequences of polypharmacy in elderly. *Expert Opinion on Drug Safety*, 13(1), 57-65.
- Mangoni, A. A., & Jackson, S. H. (2017). Age-related changes in pharmacokinetics and pharmacodynamics: Basic principles and practical applications. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 57(1), 6-14.
- Medicine, I. o. (2001). *Crossing the Quality Chasm: A New Health System for the 21st Century*. Washington, DC: The National Academies Press.
- Ofori-Asenso, R., & Agyeman, A. A. (2016). Irrational Use of Medicines: A Summary of Key Concepts. *Pharmacy*, 4(35).
- Organization, W. H. (2015). *Promoting rational use of medicines: Core components*.
- Pharmacists, A. S., o H.-S. (2018). ASHP guidelines on the pharmacist's role in providing drug information. *American Journal of Health-System Pharmacy*, 75(5).
- Rodrigues, M. C., de Oliveira, C., & Nogueira, F. (2016). Drug-drug interactions and adverse drug reactions in polypharmacy among older adults: An integrative review. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 24, e2800. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.1316.2800>
- Sabate, E. (2003). *Adherence to long-term therapies: Evidence for action*. Ginebra: World Health Organization.
- Ventola, C. L. (2015). The antibiotic resistance crisis: Part 1: Causes and threats. *Pharmacy and Therapeutics*, 40(4), 277-283.

¿Qué secretos oculta el veneno de alacrán?

LAURA LETICIA VALDEZ VELÁZQUEZ*

JUANA MARÍA JIMÉNEZ VARGAS**

Resumen

El veneno de alacrán, con su mezcla letal de toxinas, sigue siendo un campo de estudio fascinante y prometedor. A través de la investigación científica hemos comenzado a desentrañar los secretos que oculta este veneno, revelando no sólo su potencial para causar daño, sino también su capacidad para curar y salvar vidas. Desde el tratamiento del dolor, como un potente analgésico, como terapia para enfermedades autoinmunes, como un interesante antibiótico y el desarrollo de antivenenos... El veneno de alacrán ofrece un vasto panorama de aplicaciones que podrían transformar la medicina moderna. A medida que continuamos explorando y comprendiendo estas complejas sustancias, el futuro de la investigación sobre el veneno de alacrán se presenta lleno de oportunidades y descubrimientos innovadores.

Introducción

El veneno de alacrán, temido y fascinante, ha capturado la atención de científicos y médicos durante décadas. Estos arácnidos, asociados con peligro y misterio, poseen un veneno letal para sus presas y potencialmente beneficioso para los humanos.

* Universidad de Colima, Facultad de Ciencias Químicas.

** Consejo Nacional de Humanidades, Ciencia y Tecnología.

La composición del veneno varía entre especies debido a millones de años de evolución y adaptación. Este veneno, aunque temible, es una obra maestra de la evolución y biología, mereciendo respeto por su sofisticación y su rol vital en el ecosistema.

Comprender el veneno de alacrán no sólo revela su complejidad, sino que también abre puertas para desarrollar antídotos y tratamientos más efectivos. Este campo de investigación, en constante evolución, ofrece nuevas y emocionantes posibilidades en medicina y biotecnología.

En este texto se exploran en profundidad los componentes del veneno de alacrán, sus efectos biológicos, avances en investigación médica y aplicaciones futuras que podrían transformar la medicina y la biotecnología.

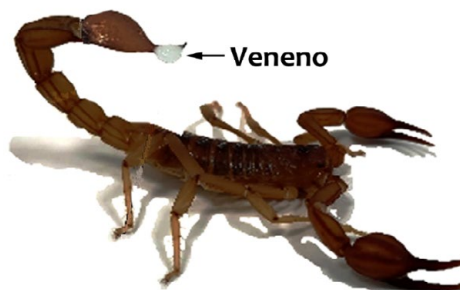
Veneno de alacrán

Cuando pensamos en alacranes, lo primero que nos viene a la mente es su pequeño tamaño y su temible picadura. Pero ¿qué es exactamente lo que tiene el veneno de alacrán que lo hace tan peligroso ante una picadura de estos animalitos tan tremendos? Para empezar, ¿te has preguntado cómo es físicamente el veneno?

El veneno de alacrán es generalmente incoloro o ligeramente amarillento y transparente, lo que lo hace difícil de ver a simple vista. Recién extraído, tiene un aspecto claro y brillante, similar a una lágrima, variando ligeramente según la especie y la dieta del alacrán. Este veneno es un líquido viscoso, más espeso que el agua, lo que permite que se adhiera mejor al tejido de la presa o víctima, facilitando su rápida absorción y eficacia (Inceoglu *et al.*, 2003; Nuchhi *et al.*, 2009).

La cantidad de veneno que un alacrán puede inyectar varía según la especie y el tamaño. Los alacranes más grandes suelen inocular más veneno, entre 0.25 y 2 miligramos por

Figura 1. Alacrán *Thorellius intrepidus*. Se muestra la expulsión del veneno a través del último segmento de la cola del alacrán, el cual es llamado telson o aguijón

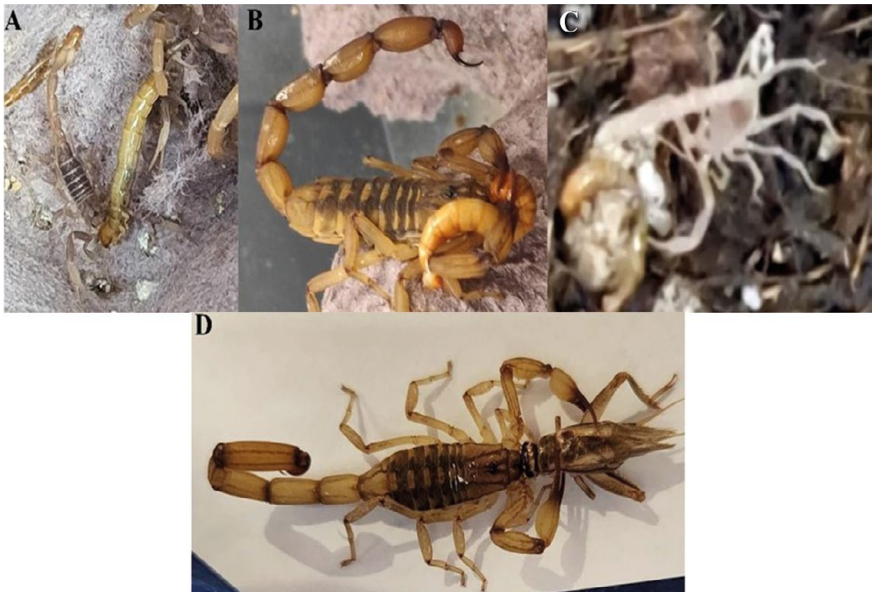


picadura, aunque algunos, como el *Centruroides sculpturatus*, pueden liberar hasta 2.5 miligramos (Mullen & Sissom, 2019). La cantidad de veneno también depende de factores como la amenaza percibida y la necesidad de reabastecerse.

El aguijón del alacrán está conectado a dos glándulas venenosas que producen y almacenan el veneno. Al picar, los músculos alrededor de las glándulas se contraen, expulsando el veneno, que puede tardar hasta 15 días en regenerarse (Nisani, 2008).

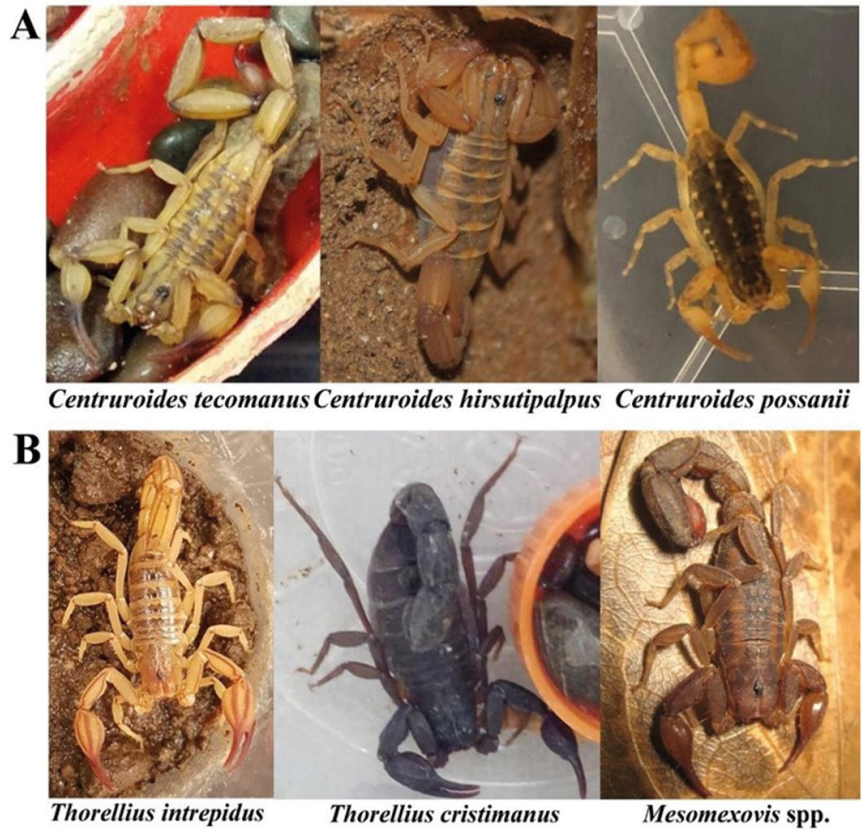
La eficacia del veneno depende de su cantidad y composición química, que varía entre especies. Algunas especies tienen venenos que afectan los nervios, mientras que otros causan daño tisular o inflamación (Possani, 2013; Reis *et al.*, 2019). La dieta, el entorno y la edad del alacrán también influyen en la composición del veneno (Pucca *et al.*, 2014). Alacranes en entornos hostiles desarrollan venenos más potentes, y los juveniles tienen venenos diferentes a los adultos, adaptándose a sus necesidades (Simone & Van Der Meijden, 2021; Nisani, 2008).

Figura 2. Alacranes alimentándose con tenebrios y grillos. A. *Thorellius intrepidus* juvenil, B. *Centruroides tecomanus*, C. *Mesomexovis* spp., D. *Centruroides tecomanus*



Todos los alacranes tienen veneno, pero no todos son capaces de generar toxicidad en el humano, y esto es porque sólo algunas especies contiene toxinas con afinidad a moléculas específicas de los mamíferos, como, por ejemplo, en México los alacranes del género *Centruroides* (Figura 3A) son tóxicos a humanos; en cambio, los alacranes del género *Vaejovis* (Figura 3B) no son tóxicos (Borges, 2015).

Figura 3. Ejemplos de alacranes tóxicos (A) y no tóxicos (B) para humanos



Componentes del veneno de alacrán

Vamos a desentrañar el misterio detrás de este elíxir mortal. El veneno de alacrán es una mezcla muy compleja de moléculas químicas, algunas muy simples, otras más complejas, todas ellas pueden ser muy interesantes ya que ejercen un

papel fundamental dentro del veneno, y curiosamente muchas de éstas podrían funcionar como posibles fármacos, ya que su acción activa diversas funciones dentro de un organismo.

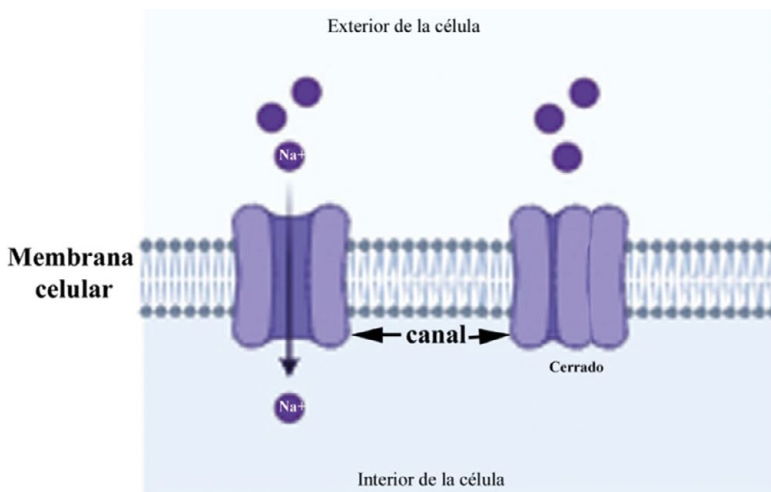
Los componentes del veneno se agrupan en varias categorías, cada una con funciones y efectos específicos.

Toxinas

El componente principal del veneno de alacrán son las toxinas, especialmente las neurotóxicas, que actúan sobre el sistema nervioso (Possani *et al.*, 2000). Estas toxinas interfieren con las señales eléctricas, causando movimientos musculares incontrolables o parálisis. Afectan los canales de sodio y potasio en las membranas celulares, interrumpiendo la comunicación neuronal y provocando parálisis y muerte.

Las neurotoxinas, formadas por 60 a 75 aminoácidos y con un peso molecular de 7 a 8 kDa (Tobassum *et al.*, 2020), se unen a los canales de sodio, manteniéndolos abiertos y provocando un flujo continuo de iones de sodio (despolarización de la membrana). Esto genera señales eléctricas prolongadas que dañan las células neuronales y musculares, causando dolor intenso, movimientos involuntarios, y en casos severos, parálisis y muerte. Su especificidad por los canales de sodio las hace efectivas y peligrosas (Martin-Eau Claire *et al.*, 2019).

Figura 4. Representación de un canal de sodio en una conformación abierta y cerrada



Tipos de neurotoxinas y su mecanismo de acción

Las neurotoxinas del veneno de alacrán se pueden clasificar en varias categorías según su sitio de acción y su estructura química.

α-neurotoxinas. Estas toxinas se unen a los canales de sodio en las membranas de las células neuronales, causando que se mantengan abiertas por más tiempo y una descarga continua de señales eléctricas. Son las toxinas más estudiadas debido a su potente efecto neurotóxico en insectos. Por ejemplo, las toxinas AaHIT1 y AaHIT2 del alacrán *Androctonus australis* (Cao *et al.*, 2014; Rodríguez de la Vega & Possani, 2005; Zlotkin *et al.*, 2000).

β-neurotoxinas. Estas toxinas también afectan los canales de sodio, pero lo hacen de manera diferente a las α-neurotoxinas, debido a que éstas son las principales responsables de los efectos de intoxicación observados en humanos, una vez que son picados por un alacrán que contiene este tipo de toxinas. Su efecto en los canales de sodio ocasiona que las neuronas envíen señales eléctricas a otras células o tejidos sin control, afectando su funcionamiento, y si no se controla puede llegar a ser fatal (Gordon *et al.*, 2003).

Neurotoxinas con afinidad por otros canales iónicos

Además de las toxinas que afectan los canales de sodio, existen otras neurotoxinas que modifican el funcionamiento de los canales que permiten el flujo de potasio, cloro y calcio. Por ejemplo, las toxinas que actúan en los canales de potasio pueden causar que éstos se mantengan cerrados por más tiempo, evitando la generación de señales eléctricas por las neuronas, contribuyendo con la toxicidad global del veneno (Possani *et al.*, 2000; Valdez-Velázquez *et al.*, 2024).

Enzimas

Las enzimas del veneno de alacrán son la clave de la potencia del veneno. Éstas son moléculas que ayudan a acelerar diferentes reacciones químicas que ocurren en un organismo. Su presencia dentro del veneno favorece que los componentes como las toxinas se distribuyan y se dispersen a los tejidos de la víctima, potenciando los efectos tóxicos de las neurotoxinas. Las enzimas en el veneno de alacrán no actúan solas. Trabajan en sinergia con las neurotoxinas y otros componentes del veneno para maximizar su eficacia. A continuación exploraremos las principales enzimas presentes en el veneno de alacrán, sus características y sus funciones (Delgado-Prudencio *et al.*, 2022).

Hialuronidasas: las facilitadoras de la difusión

Las hialuronidasas son conocidas como “enzimas diseminadoras” debido a su capacidad para degradar el ácido hialurónico, un componente principal de la matriz extracelular. Al degradar el ácido hialurónico, las hialuronidasas aumentan la permeabilidad de los tejidos, permitiendo que las toxinas se dispersen más rápidamente, proceso que facilita la difusión del veneno a través de los tejidos de la víctima y afectan a un área más amplia. Esto es esencial para asegurar que las neurotoxinas y otras moléculas bioactivas del veneno puedan llegar rápidamente a sus objetivos en el sistema nervioso y otros órganos. Estas enzimas son críticas para la efectividad del veneno. Sin la acción de las hialuronidasas, el veneno se quedaría confinado al sitio de la picadura y no podría diseminarse eficientemente para causar un efecto sistémico en la presa (Salabi & Jafari, 2023).

Proteasas: los destructores de proteínas

Las proteasas son enzimas que rompen las proteínas en moléculas más pequeñas, llamadas péptidos. En el contexto del veneno de alacrán, las proteasas tienen múltiples roles, desde la facilitación de la difusión del veneno hasta la destrucción de barreras biológicas. Al romper proteínas de la matriz extracelular y de las membranas celulares, las proteasas ayudan a debilitar las defensas tisulares de la presa. Esto no sólo facilita la penetración del veneno, sino que también puede dañar los tejidos, contribuyendo al dolor y la inflamación, superando las defensas naturales de la víctima. Su capacidad para degradar proteínas estructurales les permite abrir caminos a través de los tejidos, permitiendo que las neurotoxinas y otras moléculas tóxicas lleguen a sus objetivos (Cid-Urbe *et al.*, 2020).

Fosfolipasas: los saboteadores de membranas

Las fosfolipasas son enzimas que rompen a los fosfolípidos de las membranas celulares, causando la ruptura celular y la liberación de ácidos grasos y otros productos. Esto puede desencadenar respuestas inflamatorias severas. De esta manera estas enzimas aumentan la toxicidad del veneno, debido a que facilitan la entrada de toxinas en las células y tejidos, amplificando los efectos tóxicos del veneno (Krayem & Gargouri, 2020).

Metaloproteinasas: los remodeladores de tejidos

Las metaloproteinasas son un grupo de enzimas que requieren un ion metálico para su actividad. Estas enzimas causan la ruptura de los componentes de la matriz extracelular, como colágeno y elastina. Esto facilita la propagación del veneno y contribuye al daño tisular. Su acción puede causar sangrado y que el líquido se acumule en el sitio de la picadura, produciendo hinchazón. De tal manera que aseguran que otros componentes del veneno puedan penetrar profundamente en los tejidos y causar un daño significativo. Su capacidad para modificar la matriz extracelular produce una desorganización en las defensas estructurales de la presa, facilitando el efecto letal del veneno (Ortiz *et al.*, 2014).

Otros componentes del veneno de alacrán

El veneno de alacrán es una mezcla compleja que incluye más que sólo neurotoxinas y enzimas. A continuación analizaremos otros componentes importantes: péptidos antimicrobianos, inhibidores de proteasas, factores de crecimiento y péptidos huérfanos.

Péptidos antimicrobianos: los defensores contra patógenos

Los péptidos antimicrobianos (AMP) son pequeñas moléculas que tienen la capacidad de combatir bacterias, hongos y virus. Estos péptidos son esenciales para la defensa inmunológica del alacrán. Los AMP en el veneno de alacrán pueden causar la muerte de bacterias y hongos, por lo que pueden tener actividades antibacterianas y antifúngicas. Esta acción se logra al producir la ruptura de sus membranas, causando su muerte. La actividad de estos péptidos ayuda a proteger al alacrán de infecciones cuando usa su aguijón para cazar o defenderse, ya que la introducción de bacterias durante una picadura es una amenaza constante. La presencia de los AMP en el veneno asegura que el alacrán no sufra infecciones a causa de las heridas infligidas a sus presas o depredadores. Además, estos péptidos están siendo investigados por su potencial para desarrollar nuevos antibióticos en un contexto médico debido a la creciente resistencia bacteriana a los antibióticos tradicionales (Harrison *et al.*, 2014).

Inhibidores de proteasas: los reguladores de la actividad enzimática

Los inhibidores de proteasas son moléculas que inhiben la actividad de las proteasas, evitando la ruptura excesiva de proteínas que podría dañar al propio alacrán, regulando la actividad de las proteasas en el veneno. Estos inhibidores actúan como una especie de “freno” enzimático, controlando la degradación proteica para que ocurra de manera efectiva sólo en la presa o en el agresor. Estos inhibidores tienen potencial terapéutico en la medicina para tratar enfermedades donde las proteasas ejercen un papel destructivo, como en algunos tipos de cáncer y enfermedades inflamatorias (Cid-Urbe *et al.*, 2020).

Péptidos huérfanos: los misterios sin resolver

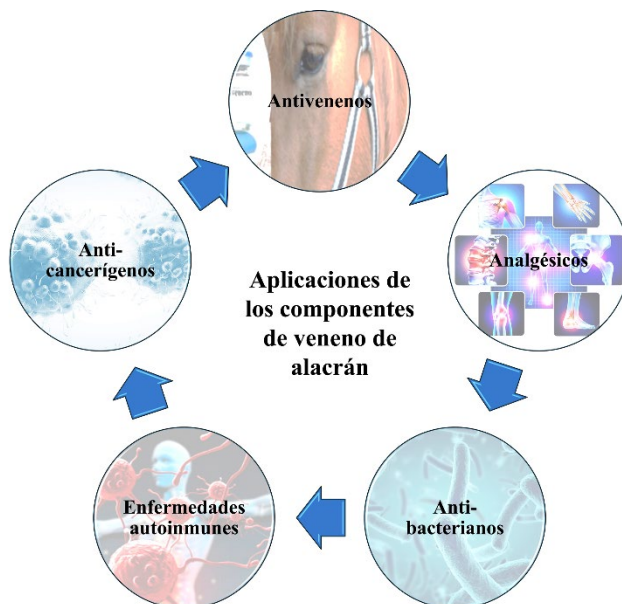
Los péptidos huérfanos son aquéllos cuyas funciones aún no han sido completamente comprendidas. A menudo se descubren durante el análisis del veneno, pero no se asocian de inmediato con una función biológica específica. Estos péptidos podrían desempeñar roles en la modulación del sistema nervioso, la defensa inmune, o en la comunicación celular. La investigación continúa para descubrir sus roles exactos y cómo contribuyen a la eficacia general del veneno (Valdez-Velázquez *et al.*, 2020).

Investigación médica y aplicaciones del veneno de alacrán

A pesar de los peligros asociados con el veneno de alacrán, la investigación científica ha descubierto varias aplicaciones médicas prometedoras de sus componentes, desde analgésicos hasta potenciales tratamientos contra el cáncer. El veneno de alacrán contiene una gran cantidad de moléculas bioactivas que son altamente selectivas y específicas para dianas en nuestras células, realizando funciones similares a las de un organismo sano. Desde hace miles de años, el veneno de alacrán se ha utilizado en la medicina tradicional, principalmente en Asia y África; en culturas antiguas se ha destacado del alacrán, su veneno y partes del cuerpo como efectivos para tratar diversas enfermedades, incluyendo el cáncer. Actualmente con nuevas metodologías se han caracterizado los componentes del veneno de alacrán, revelando la presencia de numerosos péptidos y toxinas útiles en el desarrollo de fármacos terapéuticos que ofrecen una prometedora alternativa terapéutica (Ortiz *et al.*, 2015; Shao *et al.*, 2007;

Tobassum *et al.*, 2020). A continuación se mencionan algunos de los usos terapéuticos más destacados de los componentes del veneno de alacrán (Figura 5).

Figura 5. Aplicaciones de los componentes que constituyen el veneno de alacrán



Analgésico

El veneno de alacrán, conocido principalmente por su capacidad para infligir dolor y parálisis, ha mostrado presentar componentes con un potencial en el tratamiento del dolor. Investigaciones recientes han revelado que algunas toxinas que afectan el funcionamiento de los canales de sodio tienen la capacidad de actuar en los receptores del dolor específicos, reduciendo la percepción del dolor, lo que ha llevado a la investigación de nuevos analgésicos, como ejemplo están las toxinas BmK-AS y BmK dIT-AP3, aisladas del alacrán *Buthus martensii Karsch*, un alacrán encontrado en Asia (Tobassum *et al.*, 2020). El estudio de estos componentes pueden ser una alternativa para aliviar el dolor sin tener los efectos secundarios asociados con los opioides y contribuir en el desarrollo de nuevos analgésicos a partir de análogos sintéticos de este tipo de componentes. Estos análogos pueden ser diseñados para tener una alta especificidad por sus

objetivos moleculares, lo que permite un control preciso de la modulación del dolor sin afectar otras funciones neuronales.

Uso en enfermedades autoinmunes

Algunos componentes del veneno de alacrán pueden modular el sistema inmunológico, ofreciendo un potencial tratamiento para enfermedades autoinmunes como la esclerosis múltiple y el lupus, artritis reumatoide, psoriasis (Ortiz *et al.*, 2015). Estos compuestos pueden ayudar a regular la respuesta inmune del cuerpo, reduciendo la inflamación y previniendo el daño a los tejidos sanos. Algunas toxinas del veneno de alacrán que se han probado en enfermedades autoinmunes son la Kaliotoxina (KTX) del alacrán *Androctonus mauretanicus* y la toxina osk1 del alacrán *Orthochirus scrobiculosus*, ambas mostraron supresión de la respuesta inmune inflamatoria (Attarde & Pandit, 2016; Chen & Chung, 2012; Tobassum *et al.*, 2020).

Antibiótico

El sistema inmunológico innato de los alacranes les permite resistir infecciones microbianas gracias a diversos péptidos antimicrobianos que contienen su veneno. Se han identificado toxinas del alacrán *Mesobuthus martensii*, como BmKn1 y BmKn2, siendo eficaces para matar bacterias. Otro componente conocido como mucoporin derivado del alacrán *Lychas mucronatus* inhibe específicamente el crecimiento de bacterias grampositivas, como *Staphylococcus aureus*, observándose también esta actividad con el péptido ctriporin del alacrán *Chaerilus tricoatus*. La resistencia bacteriana a los antibióticos es un grave problema de salud mundial, lo que impulsa la búsqueda de nuevos antimicrobianos, como los péptidos antimicrobianos. Estos péptidos, presentes en muchos organismos, actúan como una barrera inicial contra patógenos, con bajo potencial de inducir resistencia y mecanismos que afectan la membrana celular (Cao *et al.*, 2014; Fan *et al.*, 2011; Ortiz *et al.*, 2014; Tobassum *et al.*, 2020).

Tratamiento contra cáncer

Investigaciones recientes han mostrado que ciertas toxinas del veneno de alacrán pueden ser efectivas en la lucha contra el cáncer. Por ejemplo, la clorotoxina,

un péptido encontrado en el veneno del alacrán *Leiurus quinquestriatus*, ha demostrado ser efectivo para unirse a las células tumorales del cerebro e inhibir su propagación. Estos péptidos pueden atravesar el escudo que protege al cerebro, llamado barrera hematoencefálica, dirigirse al tejido glial y unirse específicamente a las células tumorales (glioma), un tipo agresivo de cáncer cerebral. Con este conocimiento, se han desarrollado tratamientos experimentales que combinan la acción de la clorotoxina con agentes terapéuticos para mejorar la precisión y eficacia del tratamiento contra el cáncer cerebral. Otros estudios recientes demostraron que la efectividad de componentes de veneno sobre canales iónicos específicos puede inhibir el crecimiento de diversas líneas celulares cancerígenas, evitando su propagación y migración a otros tejidos. Por ejemplo, el veneno del alacrán *Odontobuthus doriae* inhibe el crecimiento de las células cancerígenas e induce su muerte por apoptosis. Este efecto se demostró en líneas celulares de leucemia, glioma y cáncer de mama, entre otras. En ensayos clínicos, el medicamento Vidatox, derivado de un veneno extraído del alacrán *Rhopalurus junceus*, se ha utilizado para tratar el cáncer hepático. Estos hallazgos sugieren que los componentes del veneno de alacrán pueden ser una fuente prometedora de nuevos tratamientos anticancerígenos (Attarde & Pandit, 2016; Mrugala *et al.*, 2012; Ortiz *et al.*, 2015; Tobassum *et al.*, 2020).

Desarrollo de antivenenos

El estudio del veneno de alacrán ha permitido desarrollar antivenenos más efectivos. Al comprender mejor las toxinas, los científicos pueden crear tratamientos específicos que neutralicen el veneno, salvando vidas y reduciendo el sufrimiento de las víctimas. Estos antivenenos no sólo neutralizan las toxinas, sino que también reducen los efectos secundarios de los tratamientos tradicionales. La mejora en la producción y administración de antivenenos ha salvado muchas vidas, especialmente en regiones donde las picaduras de alacrán son comunes.

El tratamiento con antiveneno de alacrán, introducido en 1909, sigue siendo el principal método en algunos países. Éste se basa en anticuerpos heterólogos obtenidos de caballos y/u ovejas inmunizadas con veneno de alacrán. Tras un proceso de hiperinmunización, se extrae la sangre de los animales y se purifican los anticuerpos del suero para usarlos como antivenenos. Sin embargo, el uso de

anticuerpos completos puede desencadenar una respuesta inmune severa, por lo que se fragmentan las moléculas y se purifican sólo las regiones activas del anticuerpo. Además, se están desarrollando fragmentos de anticuerpos mediante estrategias genéticas, como Fab y scFv, que mantienen la especificidad de los anticuerpos completos y mejoran la penetración en los tejidos, demostrando ser efectivos en la neutralización del veneno de alacrán (Espino-Solis *et al.*, 2009; Holliger & Hudson, 2005; Riaño-Umbarila *et al.*, 2011; Theakston *et al.*, 2003).

Conclusión

El veneno de alacrán, con su mezcla compleja de toxinas y moléculas bioactivas, representa un recurso prometedor para el desarrollo de nuevos tratamientos médicos y biotecnológicos. A pesar de su reputación como una sustancia peligrosa, la investigación ha revelado múltiples aplicaciones potenciales en el tratamiento del dolor, enfermedades autoinmunes, infecciones bacterianas y cáncer. Esto subraya la importancia de entender y aprovechar las propiedades del veneno de alacrán para avanzar en la medicina moderna y mejorar la calidad de vida de las personas.

Lecturas recomendadas

- Attarde, S., & Pandit, S. (2016). Scorpion venom as therapeutic agent-current perspective. *International Journal of Current Pharmaceutical Review and Research*, 7(2), 59-72. https://www.researchgate.net/publication/303109869_Scorpion_venom_as_therapeutic_agent_-_current_perspective
- Borges, A. (2015). Scorpionism and dangerous scorpions in Central America and the Caribbean region. *Scorpion Venoms*. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6404-0_21
- Cao, Z., Di, Z., Wu, Y., & Li, W. (2014). Overview of scorpion species from China and their toxins. *Toxins*, 6(3). <https://doi.org/10.3390/toxins6030796>
- Chen, R., & Chung, S.-H. (2012). Engineering a Potent and Specific Blocker of Voltage-Gated Potassium Channel Kv1.3, a Target for Autoimmune Diseases. *Biochemistry*, 51(9), 1976-1982. <https://doi.org/10.1021/bi201811j>
- Cid-Urbe, J. I., Veytia-Bucheli, J. I., Romero-Gutiérrez, T., Ortiz, E., & Possani, L. D. (2020). Scorpion venomomics: A 2019 overview. *Expert Review of Proteomics*, 17(1). <https://doi.org/10.1080/14789450.2020.1705158>

- Delgado-Prudencio, G., Cid-Urbe, J. I., Morales, J. A., Possani, L. D., Ortiz, E., & Romero-Gutiérrez, T. (2022). The Enzymatic Core of Scorpion Venoms. *Toxins*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/toxins14040248>
- Espino-Solís, G. P., Riaño-Umbarila, L., Becerril, B., & Possani, L. D. (2009). Antidotes against venomous animals: State of the art and perspectives. *Journal of Proteomics*, 72(2), 183-199. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2009.01.020>
- Fan, Z., Cao, L., He, Y., Hu, J., Di, Z., Wu, Y., Li, W., & Cao, Z. (2011). Ctriporin, a New Anti-Methicillin-Resistant Staphylococcus aureus Peptide from the Venom of the Scorpion Chaerilus tricostatus. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 55(11), 5220-5229. <https://doi.org/10.1128/aac.00369-11>
- Gordon, D., Ilan, N., Zilberberg, N., Gilles, N., Urbach, D., Cohen, L., Karbat, I., Froy, O., Gaathon, A., Kallen, R. G., Benveniste, M., & Gurevitz, M. (2003). An 'Old World' scorpion β -toxin that recognizes both insect and mammalian sodium channels. *European Journal of Biochemistry*, 270(12), 2663-2670. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1033.2003.03643.x>
- Harrison, P. L., Abdel-Rahman, M. A., Miller, K., & Strong, P. N. (2014). Antimicrobial peptides from scorpion venoms. *Toxicon*, vol. 88. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.06.006>
- Holliger, P., & Hudson, P. J. (2005). Engineered antibody fragments and the rise of single domains. *Nature Biotechnology*, 23(9), 1126-1136. <https://doi.org/10.1038/nbt1142>
- Inceoglu, B., Lango, J., Jing, J., Chen, L., Doymaz, F., Pessah, I. N., & Hammock, B. D. (2003). One scorpion, two venoms: Prevenom of Parabuthus transvaalicus acts as an alternative type of venom with distinct mechanism of action. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 100(3). <https://doi.org/10.1073/pnas.242735499>
- Krayem, N., & Gargouri, Y. (2020). Scorpion venom phospholipases A2: A mini-review. *Toxicon*, 184, 48-54. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.05.020>
- Martin-Eauclaire, M. F., Adi-Bessalem, S., Hammoudi-Triki, D., Laraba-Djebari, F., & Bougis, P. E. (2019). Serotherapy against voltage-gated sodium channel-targeting α -toxins from Androctonus scorpion venom. *Toxins*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/toxins11020063>
- Mrugala, M. M., Adair, J. E., & Kiem, H. P. (2012). Outside the box-novel therapeutic strategies for glioblastoma. *Cancer Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.1097/PPO.0b013e318243f785>
- Mullen, G. R., & Sissom, D. W. (2019). Scorpions (Scorpiones). En G. R. Muller & L. A. Durden (eds.), *Medical and Veterinary Entomology* (3ª edición, pp. 489-504). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814043-7.00023>

- Nisani, Z. (2008). *Behavioral and physiological ecology of scorpion venom expenditure: Stinging, spraying, and venom regeneration*. Loma Linda University. <https://scholarsrepository.llu.edu/etd/692>
- Nuchhi, U. C., Shah, R. K., & Narayan Reddy, K. S. (2009). A study of snake bite poisoning in Gulbarga region (a five-year study). *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 3(2).
- Ortiz, E., Gurrola, G. B., Schwartz, E. F., & Possani, L. D. (2015). Scorpion venom components as potential candidates for drug development. *Toxicon*, 93, 125-135. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.11.233>
- Ortiz, E., Rendón-Anaya, M., Rego, S. C., Schwartz, E. F., & Possani, L. D. (2014). Antarease-like Zn-metalloproteases are ubiquitous in the venom of different scorpion genera. *Biochimica et Biophysica Acta - General Subjects*, 1840(6). <https://doi.org/10.1016/j.bbagen.2013.12.012>
- Possani, L. (2013). El alacrán y su piquete. *Journal of Petrology*, 369(1).
- Possani, L., Merino, E., Corona, M., Bolívar, F., & Becerril, B. (2000). Peptides and genes coding for scorpion toxins that affect ion-channels. *Biochimie*, 82(9-10), 861-868. [https://doi.org/10.1016/S0300-9084\(00\)01167-6](https://doi.org/10.1016/S0300-9084(00)01167-6)
- Pucca, M. B., Amorim, F. G., Cerni, F. A., De Castro Figueiredo Bordon, K., Cardoso, I. A., Anjolette, F. A. P., & Arantes, E. C. (2014). Influence of post-starvation extraction time and prey-specific diet in Tityus serrulatus scorpion venom composition and hyaluronidase activity. *Toxicon*, 90(1). <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2014.08.064>
- Reis, M. B., Zoccal, K. F., Gardinassi, L. G., & Faccioli, L. H. (2019). Scorpion envenomation and inflammation: Beyond neurotoxic effects. *Toxicon*, vol. 167. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2019.06.219>
- Riaño-Umbarila, L., Contreras-Ferrat, G., Olamendi-Portugal, T., Morelos-Juárez, C., Corzo, G., Possani, L. D., & Becerril, B. (2011). Exploiting Cross-reactivity to Neutralize two Different Scorpion Venoms with one Single Chain Antibody Fragment. *Journal of Biological Chemistry*, 286(8), 6143-6151. <https://doi.org/10.1074/jbc.M110.189175>
- Rodríguez de la Vega, R. C., & Possani, L. D. (2005). Overview of scorpion toxins specific for Na⁺ channels and related peptides: Biodiversity, structure-function relationships and evolution. *Toxicon*, 46(8). <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2005.09.006>
- Salabi, F., & Jafari, H. (2023). New insights about scorpion venom hyaluronidase; isoforms, expression and phylogeny. *Toxin Reviews*, 42(1). <https://doi.org/10.1080/15569543.2021.2018613>

- Schwartz, E. F., Diego-García, E., Rodríguez de la Vega, R. C., & Possani, L. D. (2007). Transcriptome analysis of the venom gland of the Mexican scorpion *Hadrurus gertschi* (Arachnida: Scorpiones). *BMC Genomics*, 8. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-8-119>
- Shao, J., Kang, N., Liu, Y., Song, S., Wu, C., & Zhang, J. (2007). Purification and characterization of an analgesic peptide from *Buthus martensii* Karsch. *Biomedical Chromatography*, 21(12), 1266-1271. <https://doi.org/10.1002/bmc.882>
- Simone, Y., & Van Der Meijden, A. (2021). Armed stem to stinger: A review of the ecological roles of scorpion weapons. *Journal of Venomous Animals and Toxins Including Tropical Diseases*, vol. 27. <https://doi.org/10.1590/1678-9199-jvatitd-2021-0002>
- Theakston, R. D., Warrell, D., & Griffiths, E. (2003). Report of a WHO workshop on the standardization and control of antivenoms. *Toxicon*, 41(5), 541-557. [https://doi.org/10.1016/S0041-0101\(02\)00393-8](https://doi.org/10.1016/S0041-0101(02)00393-8)
- Tobassum, S., Tahir, H. M., Arshad, M., Zahid, M. T., Ali, S., & Ahsan, M. M. (2020). Nature and applications of scorpion venom: An overview. *Toxin Reviews*, 39(3). <https://doi.org/10.1080/15569543.2018.1530681>
- Valdez-Velázquez, L. L., Cid-Urbe, J., Romero-Gutiérrez, M. T., Olamendi-Portugal, T., Jiménez-Vargas, J. M., & Possani, L. D. (2020). Transcriptomic and proteomic analyses of the venom and venom glands of *Centruroides hirsutipalpus*, a dangerous scorpion from Mexico. *Toxicon*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2020.02.021>
- Valdez-Velázquez, L. L., Jiménez-Vargas, J. M., Lino-López, G. J., García-Villalvazo, P. E., Ríos-Bracamontes, E. F., Gaitán-Hinojosa, M. A., Barajas-Saucedo, C. E., Galván-Hernández, A. R., Bermúdez-Guzmán, M. J., Ibarra-Vega, R., & Zavalza-Gálvez, D. I. (2024). Neurotoxicity induced by scorpion venom. *Natural Molecules in Neuroprotection and Neurotoxicity* (pp. 909-932). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-23763-8.00073-7>
- Zlotkin, E., Fishman, Y., & Elazar, M. (2000). AaIT: From neurotoxin to insecticide. *Biochimie*, 82(9-10). [https://doi.org/10.1016/S0300-9084\(00\)01177-9](https://doi.org/10.1016/S0300-9084(00)01177-9)

Proteínas a la carta: ¿cómo usamos la bioquímica y la inteligencia artificial para diseñar nuevas macromoléculas?

SERGIO ROMERO ROMERO*

Introducción

Las proteínas son uno de los componentes universales de la vida, desempeñan funciones diversas y esenciales como el transporte de moléculas, la protección contra agentes externos, la realización de reacciones químicas, el movimiento celular, y la estructura de tejidos básicos como músculos, cabello, piel, etc. Estas macromoléculas, compuestas y codificadas por cadenas de aminoácidos, adquieren estructuras tridimensionales definidas las cuales determinan su función.

Históricamente, debido a su importancia bioquímica, las proteínas son un objeto de estudio fundamental en el área químico-biológica. Uno de los desafíos más importantes ha sido el comprender cómo se pueden crear nuevas macromoléculas al aplicar todo el conocimiento acumulado de años en distintas áreas como la bioquímica, computación, fisicoquímica, etc. Dicha área de investigación, conocida como diseño e ingeniería de proteínas, busca no sólo mejorar las proteínas que conocemos, sino también expandir las funciones, formas y propiedades de las proteínas más allá de lo que encontramos en la naturaleza. Para esto, en años recientes la inteligencia artificial

* Instituto de Fisiología Celular, Departamento de Bioquímica y Biología Estructural, Universidad Nacional Autónoma de México.

combinada con otros métodos, se ha convertido en una herramienta revolucionaria para la creación exitosa de proteínas robustas.

En este capítulo exploraremos principios básicos que definen las propiedades de las proteínas y describiremos las aproximaciones empleadas en los campos de diseño e ingeniería de proteínas, desde los métodos físicos clásicos hasta los modelos de lenguaje y aprendizaje profundo, utilizados para generar proteínas novedosas, muchas de ellas completamente nuevas respecto a las que conocíamos hasta el momento. Discutiremos brevemente cómo estas innovaciones no sólo han mejorado nuestro conocimiento en el área, sino que también han abierto la puerta a un diseño racional con futuras aplicaciones médicas, industriales o medioambientales. Finalmente, abordaremos los retos actuales en el campo y las preguntas aún no resueltas, incluyendo la necesidad de modelos más precisos, así como la integración de análisis computacionales con validación experimental que en conjunto permitan establecer una *ciencia de proteínas* que transforme nuestro futuro al poder diseñar y generar exitosamente macromoléculas funcionales *à la carte*.

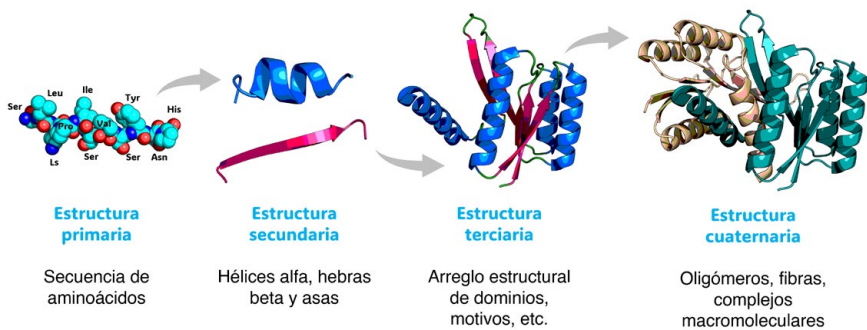
¿Qué son y para qué sirven las proteínas?

Las proteínas, junto con los carbohidratos, lípidos y ácidos nucleicos (ADN y ARN), son una de las cuatro macromoléculas fundamentales de las células que permiten el funcionamiento adecuado de múltiples procesos biológicos. Por ejemplo, las proteínas participan en el reconocimiento de agentes extraños y defensa contra agentes infecciosos, ayudan a degradar y asimilar los nutrientes, permiten la comunicación celular entre distintos órganos y tejidos, almacenan compuestos químicos y los transportan a varios lugares, sirven de soporte estructural, entre otras muchas funciones. De las proteínas depende en gran parte el buen funcionamiento celular, ya que son responsables de expresar el código genético y sus funciones definen la identidad de los seres vivos, pues con ellas se expresa el código genético contenido en el genoma y sus funciones forman parte de la identidad de los seres vivos (Berg *et al.*, 2005; Matthews *et al.*, 2012; Nick Pace *et al.*, 2014). Por todo esto es que las proteínas se consideran como uno de los actores protagónicos en este gran teatro molecular que es la vida.

Desde una perspectiva bioquímica, las proteínas se organizan en varios niveles jerárquicos de estructura que incrementan en complejidad al aumentar

cada nivel (Sun *et al.*, 2004) (Figura 1). Para entender su estructura y organización, utilizaremos la analogía de la construcción de un edificio. En el nivel más básico, el primario, las proteínas se forman por cadenas lineales de aminoácidos que se ensamblan el uno al otro mediante un tipo de unión química especial llamado enlace peptídico, de la misma forma en que las partes de una casa se construyen al juntar ladrillos con algún tipo de cemento. Dichas cadenas lineales de proteínas adquieren conformaciones específicas de estructura secundaria, que conocemos, de forma global, como hélices alfa, hebras beta y asas, entre otros; el equivalente cuando se construyen paredes, techos o pisos de una casa, donde cada uno de éstos tienen formas y propiedades definidas. El conjunto e interacción de distintos elementos de estructura secundaria en las proteínas dan pie a la formación de una conformación tridimensional llamada estructura terciaria, un equivalente cuando se combinan pisos, techos, paredes, etc. para formar una casa con una forma definida. Vale destacar que este nivel de organización terciario es el que por lo general define la estructura y, por lo tanto, la función de una proteína. En muchas ocasiones el conjunto de diversas cadenas de proteínas con estructura tridimensional definida puede interactuar unas con otras, adquiriendo una conformación adicional (oligómero) que es definida como estructura cuaternaria. De la misma forma, múltiples casas pueden agruparse en un complejo estructural más grande, por ejemplo, un edificio, para dar así un nivel más complejo de estructura.

Figura 1. Niveles de organización de las proteínas.



Las proteínas se organizan de forma jerárquica en distintos niveles que aumentan en grado de complejidad, pasando desde una secuencia primaria de aminoácidos a la creación de estructuras tridimensionales y complejos moleculares que permiten la adquisición de funciones específicas.

Ahora que sabemos cómo las proteínas se organizan y estructuran, podemos conocer qué funciones desempeñan. Estas macromoléculas biológicas hacen casi todo, y casi todo lo hacen muy bien. Mientras tú lees este capítulo de libro, el oxígeno que entra a tus pulmones se adquiere y transporta en la sangre gracias a una proteína llamada hemoglobina. Además, seguramente has parpadeado varias veces sin darte cuenta, esto gracias a múltiples proteínas de los músculos como la actina y miosina. También, al leer este texto la información se transmite mediante varias proteínas y canales de membrana que traducen un tipo de información en otra. Asimismo, en cada momento existen distintas proteínas llamadas anticuerpos que detectan constantemente sustancias dañinas y emiten la alerta para que nuestras células del sistema inmunitario las ataquen y eliminen. Finalmente, ahora mismo tu organismo seguramente está metabolizando distintos nutrientes que ingeriste hace unas horas, gracias a un tipo especial de proteínas llamadas enzimas, así como también diversas hormonas proteicas están regulando las funciones de estos nutrientes, como lo hace la insulina. Como puedes notar, nuestra vida diaria depende de los miles de distintas funciones que ejercen las proteínas; sin ellas, simplemente la vida actual no sería como la conocemos.

¿Necesitamos diseñar nuevas proteínas?

En la sección anterior discutimos muchas de las funciones de las proteínas, desde las más básicas e indispensables como el transporte de oxígeno, hasta más complejas como la traducción de señales y comunicación celular. De esta forma, es fácil reconocer que las proteínas, aunque pueden ser moléculas pequeñas, cumplen un rol enorme en la bioquímica. Sin embargo, las proteínas no son perfectas o no realizan todas las funciones posibles. Sí, es cierto que éstas hacen cientos de reacciones químicas, pero muchas de ellas pueden mejorarse o bien cambiar sus propiedades, por lo que existe la necesidad de obtener proteínas que exhiban características mejoradas, como en estabilidad, actividad enzimática específica, regulación, localización, etc. De la misma forma, hay muchas funciones que aún no existen en la naturaleza y que bien podrían generarse gracias a una proteína. Es aquí donde un área novedosa toma relevancia, un campo de innovación llamado diseño de proteínas.

El diseño de proteínas es un área multidisciplinaria que combina los fundamentos teóricos, métodos y experimentos de distintas áreas como la química, biología, computación, física, entre otras. Este campo estudia y desarrolla estrategias computacionales y experimentales para crear nuevas proteínas, con el fin de atacar distintos problemas médicos y biotecnológicos. Por ejemplo, múltiples trabajos se han publicado sobre aplicaciones en medicina con el fin de desarrollar terapéuticos con alta especificidad y baja toxicidad para inhibir infecciones virales (Cao *et al.*, 2020; Chevalier *et al.*, 2017; Linsky *et al.*, 2020) y modular el sistema inmune (Mohan *et al.*, 2019; Silva *et al.*, 2019), o aplicaciones en biotecnología para el desarrollo de nuevos biomateriales (Chen *et al.*, 2019; Gonen *et al.*, 2015; Shen *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2024), la creación de sistemas complejos que detectan y responden a moléculas específicas (Bick *et al.*, 2017; Feng *et al.*, 2015; Glasgow *et al.*, 2019; Herud-Sikimić *et al.*, 2021; Langan *et al.*, 2019), o la generación de proteínas con secuencias y formas nuevas que no existen en la naturaleza (Dou *et al.*, 2018; Kuhlman *et al.*, 2003; Romero-Romero, Costas *et al.*, 2021).

Como se puede apreciar, el diseño de proteínas es una alternativa novedosa que busca explorar el espacio de secuencia de proteínas posibles para así poder construir macromoléculas que realicen las funciones específicas que se requieran, con remarcable precisión y estabilidad. El mundo actual enfrenta retos importantes en muchas áreas de la biotecnología, medicina, medioambiente, etc., problemas que requieren solución y donde las proteínas pueden desempeñar un papel protagónico en resolverlos. Como ejemplos tenemos el urgente desarrollo de nuevos métodos de diagnóstico y tratamiento para múltiples enfermedades, la necesidad de plataformas innovativas que puedan combatir la contaminación en varios ecosistemas, el requerimiento de formas más amigables para generar energía y biomateriales de forma masiva y económica, la exigencia de nuevas vacunas para distintos agentes patógenos, entre otros muchos más.

Debido a todo esto, es claro que el mundo requiere el diseño e ingeniería de nuevas proteínas, ya que esto permitirá no sólo atacar algunos de esos problemas a los que nos enfrentamos actualmente sino también continuar aprendiendo de estas macromoléculas tan versátiles y eficientes como son las proteínas. La interconexión entre ciencia básica y aplicada puede enriquecer los funda-

mentos teóricos del área y también continuar con el campo de aplicaciones innovadoras que el diseño de proteínas ha ido implementando en los últimos años. Ahora, vayamos a ver cómo es que podemos generar nuevos miembros de estas macromoléculas.

¿Cómo podemos diseñar nuevas proteínas?

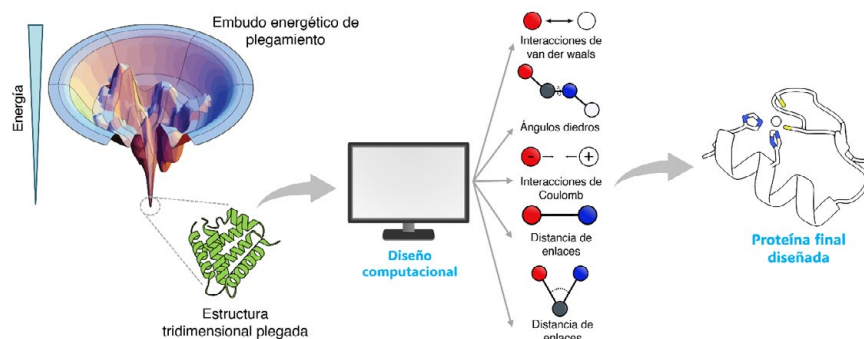
Para diseñar y crear nuevas proteínas, se requiere primero un conocimiento profundo de conceptos básicos de bioquímica, biología, química, informática, etc. Esto sólo es posible tras décadas de acumulación de conocimiento de todas esas áreas, gracias al trabajo arduo de miles de científicos que han estudiado distintos aspectos sobre el tema y el cual es recopilado en distintas bases de datos de información. Recordando la frase de un físico teórico famoso, Richard Feynman, “*Lo que no puedo crear, no lo entiendo*” (Feynman, 1988), esta frase nos muestra que si conocemos realmente los fundamentos de algo, entonces podemos crear ese algo. Por ejemplo, regresando a nuestra analogía de la casa, si un ingeniero y un arquitecto conocen los fundamentos físicos, matemáticos y de ingeniería de materiales para mantener una estructura estable, entonces ellos serán capaces de construir una casa que sea funcional y que no se derrumbe. De caso contrario, si no tienen el conocimiento profundo sobre el tema, entonces ellos no podrán construir una vivienda de forma adecuada. De la misma forma sucede con las proteínas: si realmente conocemos muchos de los fundamentos bioquímicos y estructurales que rigen las propiedades de estas macromoléculas, entonces podemos tratar de crear nuevas proteínas con las funciones y propiedades que deseamos.

Las aproximaciones clásicas del diseño e ingeniería de proteínas basadas en métodos físicos siguen un principio básico de la fisicoquímica: las proteínas adquieren su estructura tridimensional (estructura terciaria) al adoptar un mínimo de energía, el cual representa su conformación más estable (Dill & MacCallum, 2012; Romero Romero *et al.*, 2018). Este mínimo de energía se podría representar en un embudo energético de plegamiento donde todos los estados “no favorables” estarían en la parte superior, mientras que el o los estados energéticamente más favorables, es decir, donde una proteína adquiere su estructura tridimensional correctamente plegada, se encuentran en el fondo del embudo (Figura 2). Además, este tipo de conformación mínima de energía

es la que le permite a una proteína adquirir una función específica, esas funciones que discutimos en la primera sección.

Sabiendo esto, el diseño de proteínas clásico, realizado con algoritmos computacionales como *Rosetta* (Kaufmann *et al.*, 2010; Leman *et al.*, 2020), *Osprey* (Gainza *et al.*, 2013; Hallen *et al.*, 2018), *CCBuilder* (Wood *et al.*, 2014), *Clever* (Negron & Keating, 2013), entre otros, se logra mediante dos pasos básicos. Primero, se trata de explorar un espacio de secuencia amplio para encontrar secuencias de aminoácidos (recuerda, el nivel primario de estructura del que hablamos) que puedan adquirir una estructura o forma deseada. Tras encontrar candidatos, los algoritmos realizan cálculos computacionales (de propiedades importantes de las proteínas como los enlaces, ángulos, interacciones estabilizantes, etc.) para clasificar y enlistar los candidatos más probables de ser correctos de acuerdo con una o varias funciones de energía que involucran mucho del conocimiento que tenemos sobre la bioquímica de proteínas (Figura 2).

La aplicación de este enfoque plantea dos retos importantes: en primer lugar, la energía de un sistema no puede calcularse con una precisión perfecta ya que requiere demasiado poder de cómputo y, en segundo lugar, el espacio de posibles secuencias y estructuras es muy grande y, por lo tanto, difícil de buscar de forma exhaustiva (Huang *et al.*, 2016; Korendovych & DeGrado, 2020), es decir, a veces es como buscar una aguja en un pajar. Regresando a la comparación de la casa, este problema equivaldría a poder construir exitosamente una casa, con propiedades específicas, por ejemplo, de color amarillo, tres cuartos y una cochera, sin tener los planos completos ni los materiales adecuados. Está claro que entre más información precisa tengamos, la tasa de éxito se incrementará de forma considerable. Pero sin ellos, la probabilidad de tener una casa construida de forma adecuada requeriría de mucho trabajo de exploración y cálculos con métodos sofisticados, o simplemente múltiples pruebas de ensayo y error. Además de estos pasos generales en el diseño de proteínas, existen otras estrategias más específicas en el proceso de diseñar éstas, varias de ellas se han revisado en múltiples trabajos previos y pueden darte más detalle si estás interesado en profundizar (Korendovych & DeGrado, 2020; Lechner *et al.*, 2018; Pan & Kortemme, 2021; Romero-Romero, Kordes *et al.*, 2021; Woolfson, 2021).

Figura 2. Diseño de proteínas mediante métodos físicos clásicos y diseño racional.

Este tipo de estrategia sigue un principio de mínimo de energía, donde las estructuras tridimensionales de proteínas plegadas se encuentran en el fondo del embudo, las cuales poseen un mínimo de energía. Siguiendo este principio, el diseño de proteínas “clásico” se encarga de proponer secuencias de aminoácidos que, después de calcular computacionalmente y cumplir favorablemente varios parámetros físicoquímicos que rigen la estabilidad de una proteína, representen una estructura proteica bien plegada que realice una función deseada o específica. Después de una selección con distintos parámetros, algunas de las proteínas diseñadas pueden sintetizarse y ser probadas experimentalmente en el laboratorio.

Fuente: íconos utilizados de bioicons.com bajo licencias cc0 o cc-by 4.0.

A pesar de su complejidad teórica y experimental, tras varios años de trabajo el campo de diseño de proteínas ha descubierto ciertas reglas geométricas, físicoquímicas, computacionales y de construcción, para generar proteínas completamente nuevas y funcionales de forma adecuada, es decir, se han encontrado “huellas dactilares” que logran describir las propiedades de cómo se construye una proteína (Grigoryan & DeGrado, 2011; Harbury *et al.*, 1998; N. Koga *et al.*, 2012; R. Koga & Koga, 2019; Y.-R. Lin *et al.*, 2015; Minami *et al.*, 2023; Regan & DeGrado, 1988). Estas reglas, las cuales no serán abordadas en este texto, han servido para el diseño exitoso de decenas de proteínas nunca antes vistas en la naturaleza, fundamentando los principios de este campo de la bioquímica y trayendo al mundo las primeras proteínas a la carta. Sin embargo, siguiendo este enfoque, aún nos enfrentamos a grandes retos de optimización y validación, retos que se han empezado a resolver con la ayuda de la inteligencia artificial (IA) y la aplicación de modelos de aprendizaje profundo, como se describirá a continuación.

¿En qué nos ayuda la inteligencia artificial en el diseño de proteínas?

Hemos discutido que uno de los grandes retos del campo del diseño de proteínas es la generación de proteínas de forma exitosa que realicen una función deseada. Para que esto se logre, las proteínas diseñadas deben poseer al menos cinco propiedades básicas: i) *estables*: que resistan temperaturas altas, a condiciones extremas, a ciertos tipos de solventes, etc.; ii) *funcionales*: que realicen de forma correcta la actividad o función deseable; iii) *ajustables*: que sea fácil de generar versiones parecidas pero con propiedades bioquímicas distintas; iv) *controlables*: que la función se module con ciertos estímulos, y v) *modulares*: que integren distintas funciones fácilmente dentro de maquinarias moleculares mucho más complejas.

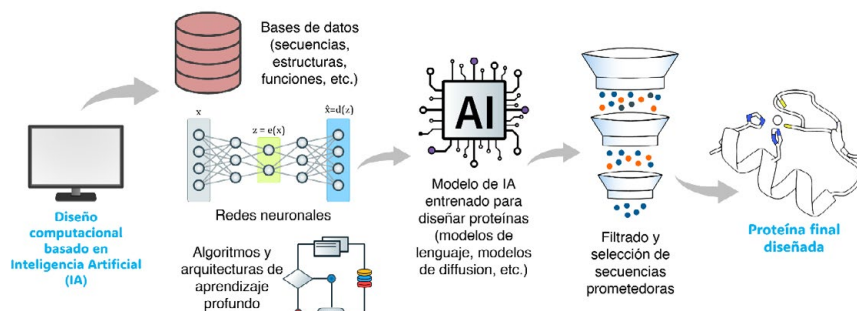
Al respecto, un cambio en el paradigma de cómo diseñamos proteínas ha sucedido en los últimos años: el uso de IA y modelos de aprendizaje profundo. Es claro que la IA está permeando en nuestra vida cotidiana y está cambiando la forma en que nos adaptamos al mundo. Y por supuesto, su uso también ha permeado en el área de la bioquímica. La IA ofrece un avance significativo para materializar la visión deseada del diseño de proteínas nuevas. Los recientes progresos en la predicción precisa de la estructura de proteínas mediante aprendizaje profundo están teniendo un impacto profundo en la manera de conceptualizar las metodologías en el campo (Baek *et al.*, 2021; Jumper *et al.*, 2021; Z. Lin *et al.*, 2023). Habíamos discutido anteriormente que los enfoques tradicionales del diseño de proteínas comienzan definiendo una estructura tridimensional (modelo), el cual queremos diseñar y, posteriormente, identifican una secuencia que sea coherente con esa estructura. Después, tras múltiples cálculos computacionales, se puede introducir una función, por ejemplo, un sitio activo para una enzima (proteínas que realizan y aceleran una reacción química), que se incorpora a ese andamiaje que se diseñó en el primer paso. Gran parte de la dificultad de esta aproximación es no sólo el poder de cómputo necesario para calcular con precisión este proceso, sino también que el diseño de una función radica en que la proteína diseñada debe adoptar la estructura deseada del sitio funcional con una extraordinaria precisión, apenas una desviación en distancia de menos de una millonésima parte de un centímetro puede provocar que la función no se realice de forma correcta.

Así, los enfoques que utilizan IA (llamados formalmente “modelos generativos de aprendizaje profundo”) ofrecen la posibilidad, en principio, de diseñar la estructura, la secuencia y la función simultáneamente. Este cambio de paradigma no es ninguna sorpresa porque recuerden que discutimos que la secuencia, estructura y función de las proteínas están íntimamente ligadas debido a su organización estructural jerárquica (Figura 1). Existen múltiples métodos que se han desarrollado para diseñar secuencias y estructuras (Ferruz *et al.*, 2023; Kortemme, 2024; Strokach & Kim, 2022), todos ellos lo que tratan es de aprender y reproducir múltiples de las reglas que rigen la estructura y estabilidad de las proteínas. Todos estos métodos utilizan alguna base de datos que contiene la información que se desea aprender y que es necesaria para entrenar el modelo, usan algún tipo de red neuronal y uno o varios de los algoritmos y arquitecturas de aprendizaje profundo existentes (Figura 3). Aquí, brevemente mencionaremos algunos de los métodos que se han desarrollado y cómo es que éstos han sido implementados en el diseño de nuevas macromoléculas.

Una de las aproximaciones es el uso de grandes modelos de lenguaje (LLMs por sus siglas en inglés). En este contexto, su uso se ha implementado debido a grandes similitudes de propiedades y organización jerárquica entre los lenguajes humanos y las secuencias de proteínas (Ferruz & Höcker, 2022; Romero-Romero *et al.*, 2023). Así, las proteínas se componen de un alfabeto químico de aminoácidos que forman elementos de estructuras secundarias del mismo modo que las letras forman palabras en muchos idiomas. Esos elementos de estructura secundaria pueden ensamblarse a su vez en una estructura terciaria y cuaternaria de forma similar a como se ensambla una frase a partir de palabras. Por último, esos elementos de estructura terciaria se acomodan para formar una estructura cuaternaria, como las frases forman un texto complejo. Siguiendo estas analogías, arquitecturas y modelos de IA han sido aplicados para “aprender” el lenguaje de las proteínas, es decir, poder “hablar” proteínas. Algunos de los LLMs al respecto son modelos como ProtGPT2 (Ferruz *et al.*, 2022), EMS-2 (Z. Lin *et al.*, 2023), ProGen (Madani *et al.*, 2023), ZymCTRL (Munsamy *et al.*, 2024), entre otros. Con estos modelos, lo que se intenta es aprender la distribución y propiedades globales de las proteínas y con esta información poder generar secuencias de aminoácidos que tengan una estructura deseada o bien una función definida por el usuario. Aunque aún se

requiere una validación experimental profunda para ver si estos modelos en realidad aprenden el lenguaje de las proteínas, los resultados preliminares por varios grupos, incluido el nuestro, han mostrado conclusiones prometedoras que permitirían diseñar proteínas con mejores propiedades y de una manera mucho más rápida (Romero-Romero, et al., 2024).

Figura 3. Diseño de proteínas mediante modelos generativos de aprendizaje profundo.



Este tipo de estrategias hacen uso de un grupo masivo de datos disponibles en distintas bases de datos, los cuales servirán como información para el entrenamiento del modelo. Tras utilizar redes neuronales, algoritmos y/o arquitecturas de aprendizaje profundo, el modelo final entrenado es utilizado para generar secuencias de aminoácidos para una tarea en específico. Después de generar miles de secuencias de aminoácidos y tras un proceso de selección detallado, finalmente algunas proteínas diseñadas pueden ser probadas en el laboratorio.

Fuente: íconos utilizados de bioicons.com bajo licencia cc0.

Además de los modelos de lenguaje, otros modelos de diseño basados en IA utilizan tanto la secuencia como la estructura tridimensional como punto inicial. Dada una estructura proteica fija, estos modelos predicen la secuencia de aminoácidos que se acopla a estas estructuras utilizando el entorno estructural local como contexto (Anand *et al.*, 2022) (a veces representado como un gráfico). *ProteinMPNN* (Dauparas *et al.*, 2022), uno de los modelos más exitosos en la actualidad se basa en el diseño de proteínas utilizando gráficas de interacciones y redes neuronales profundas que permiten generar secuencias estables y con una precisión estructural atómica. Otros métodos en el área incluyen modelos que “alucinan” proteínas nuevas (*trRosetta*) (Anishchenko *et al.*, 2021), modelos de difusión entrenados con “imágenes” o estructuras de proteínas que pueden

predecir nuevas macromoléculas (*RFdiffusion*, *Chroma*, etc.) (Ingraham *et al.*, 2023; Vázquez Torres *et al.*, 2024; Watson *et al.*, 2023), o modelos que utilizan aprendizaje por refuerzo (Lutz *et al.*, 2023), entre otros muchos más.

A pesar de que todos estos modelos han demostrado un grado de éxito sorprendente, esto no quiere decir que el problema del diseño de proteínas está resuelto. En la actualidad, el diseño con IA está limitado por su capacidad para comprender las interacciones físicas que subyacen al comportamiento molecular, es decir, logran diseñar proteínas pero sin tener una explicación clara sobre las reglas que subyacen este diseño (Winnifrith *et al.*, 2024). Aún existen retos que ponen de manifiesto las limitaciones actuales de cualquier aproximación en el área. Por ejemplo, todas las metodologías que utilizamos aún diseñan proteínas “rígidas”, es decir, con una estructura dimensional definida y no son capaces de modelar o predecir la flexibilidad de estas estructuras, aspecto que es relevante para muchas de las funciones de proteínas. Asimismo, aún no tenemos métodos eficaces que permitan regular proteínas en un contexto *in vivo* (por ejemplo, en una bacteria, planta o parásito), o que permitan realizar funciones complejas. Abordar estas complejidades podría allanar el camino para crear proteínas que respondan a moléculas pequeñas de relevancia biológica como fármacos o cualquier compuesto químico, o bien crear reacciones químicas novedosas. Y es aquí donde la incorporación de conocimientos bioquímicos básicos se convierte en un tema clave en la mejora de las metodologías y aproximaciones para el diseño y la ingeniería de proteínas, la combinación de distintas aproximaciones será la clave del éxito. Así, el balón aún está rodando y múltiples grupos alrededor del mundo trabajamos para entender, mejorar e implementar distintas aproximaciones para un diseño de proteínas más eficiente y exitoso.

Conclusiones: ¿cómo el diseño de proteínas puede cambiar el mundo?

El diseño de proteínas es un campo en constante movimiento y con grandes retos en distintas áreas. Como se discutió durante el presente texto, actualmente el mundo requiere soluciones para distintos problemas de índole biomédica, biotecnológica y de biorremediación. Imagina el tener proteínas acopladas a métodos de diagnóstico que logren detectar moléculas químicas asociadas a una cierta enfermedad. O el tener proteínas que limpien rápido y de forma económica

los mantos acuíferos que están contaminados con metales pesados, plásticos y otros compuestos. O bien el poseer proteínas que actúen como anticuerpos y nos protejan de ciertas bacterias o virus. O el poder diseñar proteínas que permitan la generación de energía más limpia con el fin de tener un mejor ambiente. Éstos y muchos más retos actuales pueden y serán abordados mediante la bioquímica de proteínas. Recordemos que estas macromoléculas son fundamentales para la vida, siendo unos de los protagonistas más importantes del teatro molecular que sucede día a día. Gracias al esfuerzo de cientos de grupos de investigación en todo el mundo, cada día nos acercamos más a comprender con detalle los principios bioquímicos y biofísicos que vinculan secuencia, estructura y función en estas fascinantes macromoléculas. Esta comprensión nos permitirá, en un futuro cercano, diseñar proteínas con una precisión atómica y funcional sin precedentes, abriendo la puerta a la creación de proteínas *a la carta*.

Lecturas recomendadas

- Anand, N., Eguchi, R., Mathews, I. I., Perez, C. P., Derry, A., Altman, R. B., & Huang, P.-S. (2022). Protein sequence design with a learned potential. *Nature Communications*, 13(1), 746. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-28313-9>
- Anishchenko, I., Pellock, S. J., Chidyausiku, T. M., Ramelot, T. A., Ovchinnikov, S., Hao, J., Bafna, K., Norn, C., Kang, A., Bera, A. K., DiMaio, F., Carter, L., Chow, C. M., Montelione, G. T., & Baker, D. (2021). De novo protein design by deep network hallucination. *Nature*, 600(7889), 547-552. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04184-w>
- Baek, M., DiMaio, F., Anishchenko, I., Dauparas, J., Ovchinnikov, S., Lee, G. R., Wang, J., Cong, Q., Kinch, L. N., Schaeffer, R. D., Millán, C., Park, H., Adams, C., Glassman, C. R., DeGiovanni, A., Pereira, J. H., Rodrigues, A. V., Van Dijk, A. A., Ebrecht, A. C., & Baker, D. (2021). Accurate prediction of protein structures and interactions using a three-track neural network. *Science*, 373(6557), 871-876. <https://doi.org/10.1126/science.abj8754>
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., & Stryer, L. (2005). *Biochemistry*. (5ª edición). W. H. Freeman.
- Bick, M. J., Greisen, P. J., Morey, K. J., Antunes, M. S., La, D., Sankaran, B., Raymond, L., Johnsson, K., Medford, J. I., & Baker, D. (2017). Compu-

- tational design of environmental sensors for the potent opioid fentanyl. *eLife*, 6, e28909. <https://doi.org/10.7554/eLife.28909>
- Cao, L., Goresnik, I., Coventry, B., Case, J. B., Miller, L., Kozodoy, L., Chen, R. E., Carter, L., Walls, A. C., Park, Y.-J., Strauch, E.-M., Stewart, L., Diamond, M. S., Veesler, D., & Baker, D. (2020). De novo design of picomolar SARS-CoV-2 miniprotein inhibitors. *Science*, 370(6515), 426-431. <https://doi.org/10.1126/science.abd9909>
- Chen, Z., Johnson, M. C., Chen, J., Bick, M. J., Boyken, S. E., Lin, B., De Yoreo, J. J., Kollman, J. M., Baker, D., & DiMaio, F. (2019). Self-Assembling 2D Arrays with *de Novo* Protein Building Blocks. *Journal of the American Chemical Society*, 141(22), 8891-8895. <https://doi.org/10.1021/jacs.9b01978>
- Chevalier, A., Silva, D.-A., Rocklin, G. J., Hicks, D. R., Vergara, R., Murapa, P., Bernard, S. M., Zhang, L., Lam, K.-H., Yao, G., Bahl, C. D., Miyashita, S.-I., Goresnik, I., Fuller, J. T., Koday, M. T., Jenkins, C. M., Colvin, T., Carter, L., Bohn, A., ... & Baker, D. (2017). Massively parallel de novo protein design for targeted therapeutics. *Nature*, 550(7674), 74-79. <https://doi.org/10.1038/nature23912>
- Dauparas, J., Anishchenko, I., Bennett, N., Bai, H., Ragotte, R. J., Milles, L. F., Wicky, B. I. M., Courbet, A., De Haas, R. J., Bethel, N., Leung, P. J. Y., Huddy, T. F., Pellock, S., Tischer, D., Chan, F., Koepnick, B., Nguyen, H., Kang, A., Sankaran, B., ... & Baker, D. (2022). Robust deep learning-based protein sequence design using ProteinMPNN. *Science*, 378(6615), 49-56. <https://doi.org/10.1126/science.add2187>
- Dill, K. A., & MacCallum, J. L. (2012). The Protein-Folding Problem, 50 Years On. *Science*, 338(6110), 1042-1046. <https://doi.org/10.1126/science.1219021>
- Dou, J., Vorobieva, A. A., Sheffler, W., Doyle, L. A., Park, H., Bick, M. J., Mao, B., Foight, G. W., Lee, M. Y., Gagnon, L. A., Carter, L., Sankaran, B., Ovchinnikov, S., Marcos, E., Huang, P.-S., Vaughan, J. C., Stoddard, B. L., & Baker, D. (2018). De novo design of a fluorescence-activating β -barrel. *Nature*, 561(7724), 485-491. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0509-0>
- Feng, J., Jester, B. W., Tinberg, C. E., Mandell, D. J., Antunes, M. S., Chari, R., Morey, K. J., Rios, X., Medford, J. I., Church, G. M., Fields, S., & Baker, D. (2015). A general strategy to construct small molecule biosensors in eukaryotes. *eLife*, 4, e10606. <https://doi.org/10.7554/eLife.10606>
- Ferruz, N., Heininger, M., Akdel, M., Goncarenco, A., Naef, L., & Dallago, C. (2023). From sequence to function through structure: Deep learning for

- protein design. *Computational and Structural Biotechnology Journal*, 21, 238-250. <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2022.11.014>
- Ferruz, N., & Höcker, B. (2022). Controllable protein design with language models. *Nature Machine Intelligence*, 4(6), 521-532. <https://doi.org/10.1038/s42256-022-00499-z>
- Ferruz, N., Schmidt, S., & Höcker, B. (2022). ProtGPT2 is a deep unsupervised language model for protein design. *Nature Communications*, 13(1), 4348. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-32007-7>
- Feynman, R. (1988). Richard Feynman's blackboard at time of his death [Archive]. *Caltech Archives*. <https://digital.archives.caltech.edu/collections/Images/1.10-29/>
- Gainza, P., Roberts, K. E., Georgiev, I., Lilien, R. H., Keedy, D. A., Chen, C.-Y., Reza, F., Anderson, A. C., Richardson, D. C., Richardson, J. S., & Donald, B. R. (2013). OSPREY: Protein Design with Ensembles, Flexibility, and Provable Algorithms. *Methods in Enzymology*, vol. 523, pp. 87-107. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394292-0.00005-9>
- Glasgow, A. A., Huang, Y.-M., Mandell, D. J., Thompson, M., Ritterson, R., Loshbaugh, A. L., Pellegrino, J., Krivacic, C., Pache, R. A., Barlow, K. A., Ollikainen, N., Jeon, D., Kelly, M. J. S., Fraser, J. S., & Kortemme, T. (2019). Computational design of a modular protein sense-response system. *Science*, 366(6468), 1024-1028. <https://doi.org/10.1126/science.aax8780>
- Gonen, S., DiMaio, F., Gonen, T., & Baker, D. (2015). Design of ordered two-dimensional arrays mediated by noncovalent protein-protein interfaces. *Science*, 348(6241), 1365-1368. <https://doi.org/10.1126/science.aaa9897>
- Grigoryan, G., & DeGrado, W. F. (2011). Probing Designability via a Generalized Model of Helical Bundle Geometry. *Journal of Molecular Biology*, 405(4), 1079-1100. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2010.08.058>
- Hallen, M. A., Martin, J. W., Ojewole, A., Jou, J. D., Lowegard, A. U., Frenkel, M. S., Gainza, P., Nisonoff, H. M., Mukund, A., Wang, S., Holt, G. T., Zhou, D., Dowd, E., & Donald, B. R. (2018). OSPREY 3.0: Open-source protein redesign for you, with powerful new features. *Journal of Computational Chemistry*, 39(30), 2494-2507. <https://doi.org/10.1002/jcc.25522>
- Harbury, P. B., Plecs, J. J., Tidor, B., Alber, T., & Kim, P. S. (1998). High-Resolution Protein Design with Backbone Freedom. *Science*, 282(5393), 1462-1467. <https://doi.org/10.1126/science.282.5393.1462>
- Herud-Sikimić, O., Stiel, A. C., Kolb, M., Shanmugaratnam, S., Berendzen, K. W., Feldhaus, C., Höcker, B., & Jürgens, G. (2021). A biosensor for the

- direct visualization of auxin. *Nature*, 592(7856), 768-772. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03425-2>
- Huang, P.-S., Boyken, S. E., & Baker, D. (2016). The coming of age of de novo protein design. *Nature*, 537(7620), 320-327. <https://doi.org/10.1038/nature19946>
- Ingraham, J. B., Baranov, M., Costello, Z., Barber, K. W., Wang, W., Ismail, A., Frappier, V., Lord, D. M., Ng-Thow-Hing, C., Van Vlack, E. R., Tie, S., Xue, V., Cowles, S. C., Leung, A., Rodrigues, J. V., Morales-Perez, C. L., Ayoub, A. M., Green, R., Puentes, K., ... & Grigoryan, G. (2023). Illuminating protein space with a programmable generative model. *Nature*, 623(7989), 1070-1078. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06728-8>
- Jumper, J., Evans, R., Pritzel, A., Green, T., Figurnov, M., Ronneberger, O., Tunyasuvunakool, K., Bates, R., Žídek, A., Potapenko, A., Bridgland, A., Meyer, C., Kohl, S. A. A., Ballard, A. J., Cowie, A., Romera-Paredes, B., Nikolov, S., Jain, R., Adler, J., ... & Hassabis, D. (2021). Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold. *Nature*, 596(7873), 583-589. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03819-2>
- Kaufmann, K. W., Lemmon, G. H., DeLuca, S. L., Sheehan, J. H., & Meiler, J. (2010). Practically Useful: What the R OSETTA Protein Modeling Suite Can Do for You. *Biochemistry*, 49(14), 2987-2998. <https://doi.org/10.1021/bi902153g>
- Koga, N., Tatsumi-Koga, R., Liu, G., Xiao, R., Acton, T. B., Montelione, G. T., & Baker, D. (2012). Principles for designing ideal protein structures. *Nature*, 491(7423), 222-227. <https://doi.org/10.1038/nature11600>
- Koga, R., & Koga, N. (2019). Consistency principle for protein design. *Biophysics and Physicobiology*, 16(0), 304-309. https://doi.org/10.2142/biophysico.16.0_304
- Korendovych, I. V., & DeGrado, W. F. (2020). De novo protein design, a retrospective. *Quarterly Reviews of Biophysics*, 53, e3. <https://doi.org/10.1017/S0033583519000131>
- Kortemme, T. (2024). De novo protein design: From new structures to programmable functions. *Cell*, 187(3), 526-544. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2023.12.028>
- Kuhlman, B., Dantas, G., Ireton, G. C., Varani, G., Stoddard, B. L., & Baker, D. (2003). Design of a Novel Globular Protein Fold with Atomic-Level Accuracy. *Science*, 302(5649), 1364-1368. <https://doi.org/10.1126/science.1089427>

- Langan, R. A., Boyken, S. E., Ng, A. H., Samson, J. A., Dods, G., Westbrook, A. M., Nguyen, T. H., Lajoie, M. J., Chen, Z., Berger, S., Mulligan, V. K., Dueber, J. E., Novak, W. R. P., El-Samad, H., & Baker, D. (2019). De novo design of bioactive protein switches. *Nature*, 572(7768), 205-210. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1432-8>
- Lechner, H., Ferruz, N., & Höcker, B. (2018). Strategies for designing non-natural enzymes and binders. *Current Opinion in Chemical Biology*, 47, 67-76. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2018.07.022>
- Leman, J. K., Weitzner, B. D., Lewis, S. M., Adolf-Bryfogle, J., Alam, N., Alford, R. F., Aprahamian, M., Baker, D., Barlow, K. A., Barth, P., Basanta, B., Bender, B. J., Blacklock, K., Bonet, J., Boyken, S. E., Bradley, P., Bystroff, C., Conway, P., Cooper, S., ... & Bonneau, R. (2020). Macromolecular modeling and design in Rosetta: Recent methods and frameworks. *Nature Methods*, 17(7), 665-680. <https://doi.org/10.1038/s41592-020-0848-2>
- Lin, Y.-R., Koga, N., Tatsumi-Koga, R., Liu, G., Clouser, A. F., Montelione, G. T., & Baker, D. (2015). Control over overall shape and size in de novo designed proteins. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(40). <https://doi.org/10.1073/pnas.1509508112>
- Lin, Z., Akin, H., Rao, R., Hie, B., Zhu, Z., Lu, W., Smetanin, N., Verkuil, R., Kabeli, O., Shmueli, Y., Dos Santos Costa, A., Fazel-Zarandi, M., Sercu, T., Candido, S., & Rives, A. (2023). Evolutionary-scale prediction of atomic-level protein structure with a language model. *Science*, 379(6637), 1123-1130. <https://doi.org/10.1126/science.ade2574>
- Linsky, T. W., Vergara, R., Codina, N., Nelson, J. W., Walker, M. J., Su, W., Barnes, C. O., Hsiang, T.-Y., Esser-Nobis, K., Yu, K., Reneer, Z. B., Hou, Y. J., Priya, T., Mitsumoto, M., Pong, A., Lau, U. Y., Mason, M. L., Chen, J., Chen, A., ... & Silva, D.-A. (2020). De novo design of potent and resilient hACE2 decoys to neutralize SARS-CoV-2. *Science*, 370(6521), 1208-1214. <https://doi.org/10.1126/science.abe0075>
- Lutz, I. D., Wang, S., Norn, C., Courbet, A., Borst, A. J., Zhao, Y. T., Dosey, A., Cao, L., Xu, J., Leaf, E. M., Treichel, C., Litvicov, P., Li, Z., Goodson, A. D., Rivera-Sánchez, P., Bratovianu, A.-M., Baek, M., King, N. P., Ruohola-Baker, H., & Baker, D. (2023). Top-down design of protein architectures with reinforcement learning. *Science*, 380(6642), 266-273. <https://doi.org/10.1126/science.adf6591>
- Madani, A., Krause, B., Greene, E. R., Subramanian, S., Mohr, B. P., Holton, J. M., Olmos, J. L., Xiong, C., Sun, Z. Z., Socher, R., Fraser, J. S., & Naik,

- N. (2023). Large language models generate functional protein sequences across diverse families. *Nature Biotechnology*, 41(8), 1099-1106. <https://doi.org/10.1038/s41587-022-01618-2>
- Matthews, C. K., Van Holde, K. E., Appling, D. R., & Anthony-cahill, S. J. (2012). *Biochemistry*. Pearson College Div.
- Minami, S., Kobayashi, N., Sugiki, T., Nagashima, T., Fujiwara, T., Tatsumi-Koga, R., Chikenji, G., & Koga, N. (2023). Exploration of novel $\alpha\beta$ -protein folds through de novo design. *Nature Structural & Molecular Biology*, 30(8), 1132-1140. <https://doi.org/10.1038/s41594-023-01029-0>
- Mohan, K., Ueda, G., Kim, A. R., Jude, K. M., Fallas, J. A., Guo, Y., Hafer, M., Miao, Y., Saxton, R. A., Piehler, J., Sankaran, V. G., Baker, D., & Garcia, K. C. (2019). Topological control of cytokine receptor signaling induces differential effects in hematopoiesis. *Science*, 364(6442), eaav7532. <https://doi.org/10.1126/science.aav7532>
- Munsamy, G., Illanes-Vicioso, R., Funcillo, S., Nakou, I. T., Lindner, S., Ayres, G., Sheehan, L. S., Moss, S., Eckhard, U., Lorenz, P., & Ferruz, N. (2024). *Conditional language models enable the efficient design of proficient enzymes*. <https://doi.org/10.1101/2024.05.03.592223>
- Negron, C., & Keating, A. E. (2013). Multistate Protein Design Using CLEVER and CLASSY. *Methods in Enzymology*, vol. 523, pp. 171-190. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394292-0.00008-4>
- Nick Pace, C., Scholtz, J. M., & Grimsley, G. R. (2014). Forces stabilizing proteins. *FEBS Letters*, 588(14), 2177-2184. <https://doi.org/10.1016/j.febslet.2014.05.006>
- Pan, X., & Kortemme, T. (2021). Recent advances in de novo protein design: Principles, methods, and applications. *Journal of Biological Chemistry*, 296, 100558. <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2021.100558>
- Regan, L., & DeGrado, W. F. (1988). Characterization of a Helical Protein Designed from First Principles. *Science*, 241(4868), 976-978. <https://doi.org/10.1126/science.3043666>
- Romero-Romero, S., Braun, A., Kossendey, T., Ferruz, N., Schmidt, S., & Höcker, B. (2024). De novo design of triosephosphate isomerases using generative language models. <https://doi.org/10.1101/2024.11.10.622869>
- Romero-Romero, S., Costas, M., Silva Manzano, D.-A., Kordes, S., Rojas-Ortega, E., Tapia, C., Guerra, Y., Shanmugaratnam, S., Rodríguez-Romero, A., Baker, D., Höcker, B., & Fernández-Velasco, D. A. (2021). The Stability Landscape of de novo TIM Barrels Explored by a Modular Design

- Approach. *Journal of Molecular Biology*, 433(18), 167153. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2021.167153>
- Romero Romero, S., Fernández Velasco, D. A., & Costas, M. (2018). Estabilidad termodinámica de proteínas. *Educación Química*, 29(3), 3. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2018.3.64699>
- Romero-Romero, S., Kordes, S., Michel, F., & Höcker, B. (2021). Evolution, folding, and design of TIM barrels and related proteins. *Current Opinion in Structural Biology*, 68, 94-104. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2020.12.007>
- Romero-Romero, S., Lindner, S., & Ferruz, N. (2023). Exploring the Protein Sequence Space with Global Generative Models. *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, 15(11), a041471. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a041471>
- Shen, H., Fallas, J. A., Lynch, E., Sheffler, W., Parry, B., Jannetty, N., Decarreau, J., Wagenbach, M., Vicente, J. J., Chen, J., Wang, L., Dowling, Q., Oberdorfer, G., Stewart, L., Wordeman, L., De Yoreo, J., Jacobs-Wagner, C., Kollman, J., & Baker, D. (2018). De novo design of self-assembling helical protein filaments. *Science*, 362(6415), 705-709. <https://doi.org/10.1126/science.aau3775>
- Silva, D.-A., Yu, S., Ulge, U. Y., Spangler, J. B., Jude, K. M., Labão-Almeida, C., Ali, L. R., Quijano-Rubio, A., Ruterbusch, M., Leung, I., Biary, T., Crowley, S. J., Marcos, E., Walkey, C. D., Weitzner, B. D., Pardo-Avila, F., Castellanos, J., Carter, L., Stewart, L., & Baker, D. (2019). De novo design of potent and selective mimics of IL-2 and IL-15. *Nature*, 565(7738), 186-191. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0830-7>
- Strokach, A., & Kim, P. M. (2022). Deep generative modeling for protein design. *Current Opinion in Structural Biology*, 72, 226-236. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2021.11.008>
- Sun, P. D., Foster, C. E., & Boyington, J. C. (2004). Overview of Protein Structural and Functional Folds. *Current Protocols in Protein Science*, 35(1). <https://doi.org/10.1002/0471140864.ps1701s35>
- Vázquez Torres, S., Leung, P. J. Y., Venkatesh, P., Lutz, I. D., Hink, F., Huynh, H.-H., Becker, J., Yeh, A. H.-W., Juergens, D., Bennett, N. R., Hoofnagle, A. N., Huang, E., MacCoss, M. J., Expòsit, M., Lee, G. R., Bera, A. K., Kang, A., De La Cruz, J., Levine, P. M., & Baker, D. (2024). De novo design of high-affinity binders of bioactive helical peptides. *Nature*, 626(7998), 435-442. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06953-1>

- Watson, J. L., Juergens, D., Bennett, N. R., Trippe, B. L., Yim, J., Eisenach, H. E., Ahern, W., Borst, A. J., Ragotte, R. J., Milles, L. F., Wicky, B. I. M., Hanikel, N., Pellock, S. J., Courbet, A., Sheffler, W., Wang, J., Venkatesh, P., Sappington, I., Torres, S. V., ... & Baker, D. (2023). De novo design of protein structure and function with RFdiffusion. *Nature*, 620(7976), 1089-1100. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06415-8>
- Winniffrith, A., Outeiral, C., & Hie, B. L. (2024). Generative artificial intelligence for de novo protein design. *Current Opinion in Structural Biology*, 86, 102794. <https://doi.org/10.1016/j.sbi.2024.102794>
- Wood, C. W., Bruning, M., Ibarra, A. Á., Bartlett, G. J., Thomson, A. R., Sessions, R. B., Brady, R. L., & Woolfson, D. N. (2014). CCBuilder: An interactive web-based tool for building, designing and assessing coiled-coil protein assemblies. *Bioinformatics*, 30(21), 3029-3035. <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btu502>
- Woolfson, D. N. (2021). A Brief History of De Novo Protein Design: Minimal, Rational, and Computational. *Journal of Molecular Biology*, 433(20), 167160. <https://doi.org/10.1016/j.jmb.2021.167160>
- Yang, E. C., Divine, R., Miranda, M. C., Borst, A. J., Sheffler, W., Zhang, J. Z., Decarreau, J., Saragovi, A., Abedi, M., Goldbach, N., Ahlrichs, M., Dobbins, C., Hand, A., Cheng, S., Lamb, M., Levine, P. M., Chan, S., Skotheim, R., Fallas, J., ... & Baker, D. (2024). Computational design of non-porous pH-responsive antibody nanoparticles. *Nature Structural & Molecular Biology*. <https://doi.org/10.1038/s41594-024-01288-5>

¿Cómo hacer investigación sin recurrir a trampas?

RODRIGO VARGAS SALOMÓN*

Introducción

La ética se refiere en general a una serie de normas o principios de la conducta humana que se utilizan para distinguir lo adecuado de lo inadecuado, lo correcto de lo incorrecto, y aunque esta definición puede ser muy relativa en algunos contextos donde incluso se le vincula con cuestiones de moral, en la investigación no debería ser así, pues a pesar de las diferencias entre disciplinas, existen más acuerdos que desacuerdos respecto a qué principios o prácticas se deben respetar al investigar, especialmente cuando se incluye a personas o grupos, en cuyos casos se requiere atender a lineamientos éticos específicos.

A estos principios o lineamientos generales se les reconoce como “ética de la investigación”, y de forma más particular se les ha estudiado como “buenas y malas prácticas en la investigación”, vinculadas con la noción de “integridad científica”, una expresión que engloba la integridad de los hallazgos generados mediante una investigación, el proceso mediante el cual se generan, e incluso la propia integridad de los y las investigadores quienes los generan y publican. Espinoza y Alger (2014) señalan que la integridad científica corresponde con

* Universidad de Guadalajara-Centro Universitario de los Altos. Correo electrónico: rodrigo.vargas0848@academicos.udg.mx

[...] el marco de principios, valores y prácticas profesionales que colectivamente ayudan a asegurar que todos los aspectos del proceso de investigación se realicen de manera honesta y precisa, [de tal modo que] se debe sustentar en la confianza que debería existir sobre la integridad moral y profesional de los investigadores (p. 126).

Uno de los referentes históricos más destacados al respecto es la *Declaración de Singapur sobre la integridad en la investigación*, elaborada en 2010 en el marco de la Segunda Conferencia Mundial sobre Integridad en la Investigación (WCRI, por sus siglas en inglés), donde se establecieron cuatro principios generales sobre la investigación: honestidad en todos los aspectos de la investigación, responsabilidad en su ejecución, cortesía profesional e imparcialidad en las relaciones laborales, y buena gestión de la investigación en nombre de otro. También se acordaron 14 responsabilidades más específicas a tener en cuenta: integridad, cumplimiento de normas, métodos de investigación, documentación de la investigación, resultados, autoría, reconocimientos en las publicaciones, revisión por pares, conflictos de intereses, comunicación pública, denuncia de prácticas irresponsables, respuesta a prácticas irresponsables, ambiente para la investigación, y consideraciones sociales (WCRI, 2010).

A partir del establecimiento de este tipo de responsabilidades, y especialmente derivado de la identificación de múltiples formas y ejemplos donde éstas no se cumplen como deberían, en años recientes se han identificado muchos y muy diversos tipos de malas prácticas en la investigación, en ocasiones realizadas por desconocimiento, por presión en la generación o entrega de informes por parte de instituciones como las universidades de adscripción, u organismos como el Consejo Nacional de Ciencias, Humanidades y Tecnologías (Conahcyt) en México, pero también por la obtención de beneficios personales o grupales adicionales al propio trabajo de investigar.

Las malas prácticas en la investigación científica

Actualmente existen muchas malas prácticas en la investigación, la mayoría ya identificadas y reconocidas a nivel mundial. Las tres formas más graves, que incluso son catalogadas como “fraude científico”, son la fabricación, la falsificación y el plagio (Espinoza y Alger, 2014; Litewka, 2017; Lam, 2018; Venegas y Fuentes, 2023):

1. La fabricación-invencción de datos o resultados totales o parciales, suele realizarse por ejemplo, con la finalidad de presentar una investigación como exitosa, o para señalar que obtuvo hallazgos más relevantes de los que realmente obtuvo.
2. La falsificación o manipulación de datos o métodos utilizados para su obtención, se realiza cambiando, alterando u omitiendo información con una conveniencia personal, vinculada por lo general con la obtención de un resultado favorable para las hipótesis planteadas, aunque dicho resultado no sea verídico.
3. El plagio se refiere a la apropiación indebida de las ideas, procesos, resultados o palabras de otras personas, sin darles el debido reconocimiento como autor(a)s. En los casos más graves, se puede copiar incluso una obra completa y presentarla como propia.

El problema con estas tres formas graves de hacer trampa, es que al ser tipificadas como fraude, su señalamiento requiere ser comprobado ante una autoridad competente, y de comprobarse, las responsabilidades y sanciones se deben establecer conforme a la ley. En México, el fraude en general, y por tanto también el fraude científico, está tipificado en el artículo 386 del Código Penal Federal, como una forma de engaño al que se recurre de forma ilícita para obtener algo o alcanzar un lucro indebido, el cual puede ser castigado con un rango desde tres días hasta 12 años de prisión, o una multa desde 30 a 500 veces el salario mínimo, dependiendo el valor de lo defraudado (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2024).

En el caso del fraude científico, el tipo de engaño, lucro o beneficio, y también el valor de lo defraudado, se podrían calcular a partir de los beneficios directos e indirectos de la propia investigación o investigaciones en las que se recurra a acciones fraudulentas, aunque en la práctica éstas siempre son difíciles de estimar, y al tipificarse como delito, su denuncia debería ser probada con base en evidencia sólida, por lo que desafortunadamente rara vez alguien se atreve a denunciar este tipo de prácticas ante las autoridades competentes, y cuando se denuncian, es aún más raro que se le dé el seguimiento correspondiente.

De manera adicional a estas tres formas graves de hacer trampa en las investigaciones, existe otra gran variedad de conductas irresponsables o malas

prácticas en la investigación, que incluyen a toda acción o conducta deliberada a la que se recurre, para de algún modo, hacer trampas en las investigaciones o con los equipos de investigadore(a)s, excluyendo los errores honestos o los “fracasos” naturales que pueden ocurrir en todo tipo de investigación como parte del proceso mismo de investigar. El listado al respecto es muy amplio, pero vale la pena mencionarlas al menos de manera general, para lo cual se ha retomado información de los trabajos de Arango (2014), Litewka (2017), Lam (2018), Hill (2020) y García-Bullé (2021):

- *Conflictos de intereses.* Incluye condiciones o circunstancias presentes en una investigación o un equipo de investigadore(a)s, que pueden afectar el interés primario de la investigación, por la búsqueda de intereses secundarios como la notoriedad, el prestigio, cuestiones políticas o administrativas, beneficios económicos directos, intereses de terceros, u otros.
- *Duplicar una publicación.* Implica publicar parte o la totalidad de un artículo o informe de investigación propio, que ya se había publicado previamente en otro medio impreso o electrónico, sin el conocimiento de los editores del nuevo lugar donde se publica. Si esta duplicidad se realiza al mismo tiempo enviando un escrito para publicación a dos revistas distintas, por ejemplo, se le conoce como “replicación”.
- *Repetir o copiar una investigación.* Implica utilizar la misma metodología, instrumentos y/o procedimientos de una investigación ya publicada por otras personas, con la finalidad de encontrar resultados similares, pero la investigación se presenta como original y sin referirse al trabajo anterior.
- *Técnica del salami o publicación fragmentada.* Consiste en la práctica de cortar (como un salami) los hallazgos de una investigación en unidades menores, con la finalidad de publicarlas en diferentes revistas, como si se tratara de artículos independientes o investigaciones distintas.
- *Inflar una publicación.* Se duplican informes o artículos simplemente añadiendo algunos casos o resultados a datos previamente publicados. Por lo general los hallazgos son los mismos porque están reciclados, sólo que se publican con más datos, sin aclarar que es la misma investigación ya publicada.
- *Autoplagio.* Se toman las propias palabras de publicaciones anteriores, publicándose nuevamente sin referir correctamente su origen, lo cual

debería realizarse mediante la autocitación. El engaño está en que se pueden publicar hallazgos o conclusiones como si fueran novedosas u originales, cuando en realidad ya habían sido publicadas.

- *Incorrección de citas y referencias.* Se agregan citas o referencias relevantes que fueron retomadas de otras fuentes, simplemente copiándolas y pegándolas de las listas de referencias, pero sin consultarlas de manera directa para verificarlas, por lo que se corre el riesgo de que sean erróneas y no se es honesto(a) sobre su revisión.
- *Errores de parafraseo.* Se incluyen de manera imprecisa las ideas de otro(a)s autor(a)s para hacerlas más acordes con los fines de la propia investigación. En ocasiones incluso se omiten las citas, aunque en este caso, si esa práctica se hace de forma deliberada se le puede considerar como plagio.
- *Sesgos de publicación.* Es la tendencia a producir informes para su publicación, destacando únicamente los aciertos pero no los errores o limitaciones, debido en parte al sesgo de muchas revistas de publicar más fácil estudios con resultados positivos o estadísticamente significativos, que los que no los tienen.
- *Publicidad previa de los hallazgos.* Cuando se hacen públicos de manera anticipada o sensacionalista los resultados de una investigación, con la finalidad de generar un interés que facilite su posterior publicación formal en una revista científica.
- *Granjas de citas o círculos de autocitación.* Un grupo de investigadore(a)s colaboran con poca ética, citándose mutuamente de forma masiva y rutinaria, para así aumentar los números de citas de sus trabajos, haciéndoles parecer más importantes de lo que son en realidad.
- *Fábricas de manuscritos o paper mills.* Una de las formas más graves de hacer trampa en la investigación, pues consiste en comprar manuscritos científicos para aparecer como autores o coautores de los mismos, los cuales son producidos, generalmente a petición, por organizaciones potencialmente ilegales, elaborados por escritore(a)s fantasma con la finalidad de venderlos.
- *Trampas en la autoría (faltas en los procesos de publicación).* Están vinculadas con las malas prácticas a las que de forma deliberada se recurre al momento de publicar hallazgos, que en todos los casos persiguen ventajas

o beneficios personales o grupales precisamente a partir de la publicación. Las trampas de autoría más comunes son:

- *Autoría invitada*: se incluye como autor(a) a una persona que en realidad no participó en la investigación, pero que se asume que por su prestigio o reconocimiento en el tema, incluir su nombre facilitará que el estudio se publique o tenga un mayor impacto. La mayoría de las veces lo(a)s investigadore(a)s prestan su nombre para esta mala práctica, pero también hay ocasiones en que se realiza sin su consentimiento.
- *Autoría honoraria o regalada*: se incluyen a colegas o personas con quienes se tiene alguna relación o interés, con el acuerdo implícito o explícito de que éstas a su vez harán lo mismo para inflar las publicaciones de todo(a)s, generando una especie de “estafa piramidal de publicaciones”. La autoría regalada también se puede usar para obtener otro tipo de beneficios, por ejemplo de un(a) superior o jefe(a) inmediato(a), o de alguna dependencia o grupo con quien conviene tener una buena relación y por eso se le regala la autoría.
- *Autoría fantasma o ghostwriting*: se refiere a personas que participan de manera importante en alguna fase de la investigación, pero al momento de la publicación no se les incluye como coautor(a)s, y ni siquiera se les da el reconocimiento necesario en los apartados de agradecimientos.
- *Autoría robada*: forma más grave de autoría fantasma, la cual suele darse en los ámbitos académicos, donde investigadore(a)s de renombre se apropian de los trabajos de sus estudiantes, tutorado(a)s o investigadore(a)s más jóvenes, y los publican bajo su nombre, relegando a quienes hicieron la investigación a coautor(a)s, o incluso quitándolo(a)s de la publicación. Esta práctica suele no ser denunciada porque se ve como una especie de “pago de tributo” por las enseñanzas de sus docentes o directores.
- *Autoría comprada*: incluye los casos en los que las personas ofrecen dinero u otros beneficios, a cambio de su inclusión como autor(a)s en publicaciones de investigaciones en las que no participaron. Aquí no se compra el manuscrito o la investigación, únicamente se paga un espacio por una autoría o coautoría.

Posibles causas del problema en México

Si bien el problema de las malas prácticas en investigación es muy complejo y multifactorial, en México, como en otros países, es posible identificar condiciones generales que pueden favorecerlas. Algunas de éstas pueden ser las planteadas por Litewka (2017), quien identifica cuatro situaciones vinculadas con la mala ciencia: 1) la ausencia de normas y regulaciones claras en materia de investigación; 2) la baja posibilidad de ser descubierto(a); 3) la escasa o nula capacitación en ética de la investigación que se brinda a los investigadores noveles, y 4) casos particulares de investigador(a)s con rasgos psicopáticos, quienes recurren a este tipo de malas prácticas por el placer que les produce romper las reglas.

Además, el mismo autor plantea que otros elementos que pueden favorecer las malas prácticas están relacionados con razones e intereses económicos; con cuestiones sobre productividad-competitividad entre investigador(a)s; con la presión para producir y publicar más; con la ambición personal de alguno(a)s investigador(a)s como una forma de búsqueda de fama y gloria; y también con el culto reciente a lo que se ha denominado como “impactolatría”, una práctica perversa referida al culto o adoración a los índices o factores de impacto de las revistas, como si publicar en una revista con un factor de impacto elevado, fuera sinónimo de la calidad e importancia de una investigación científica concreta (Litewka, 2017).

En relación con estas apreciaciones generales, un análisis preliminar al respecto sobre lo que ocurre en México, y particularmente en los contextos universitarios, incluye algunas pistas relacionadas con situaciones perversas que se presentan de manera continua e interconectadas, las cuales se asumen como “necesarias” para acceder al selecto grupo de lo(a)s miembros del Sistema Nacional de Investigadores e Investigadoras (SNII) del Conahcyt, con todos los beneficios que esto supone, destacando especialmente los de carácter económico y los de prestigio personal/profesional.

El primer factor de riesgo para encaminarse hacia las malas prácticas en investigación en México, son las exigencias del Conahcyt hacia lo(a)s investigador(a)s, ya sea para ingresar o ascender de nivel dentro del SNII, lo cual ha deformado el rol de lo(a)s investigador(a)s, haciéndolos transitar desde la percepción de la ciencia como una actitud vital, donde lo importante es

hacerla a conciencia y enfocado(a) en la calidad de los hallazgos, hasta un punto en que la ciencia se convierte en una carrera profesional donde avanza más quien publica más, independientemente de la calidad o integridad de las publicaciones. El SNII mide a lo(a)s investigadore(a)s sobre todo en términos cuantitativos: cuánto publican, con qué factores de impacto, cuántas tesis dirigen, cuántas personas citan sus trabajos, etc., y lo cualitativo siempre tiene un papel secundario.

Pero el SNII no es en realidad el problema, sino más bien la forma poco honesta en que mucho(a)s investigadore(a)s responden a estas exigencias, haciendo “lo que sea necesario” para ingresar y permanecer en el SNII, pues dicho reconocimiento no es sólo un asunto de ego personal, sino que viene acompañado con un estímulo económico que en 2024 representa un mínimo de 9,900 pesos mensuales para lo(a)s candidato(a)s (nivel más bajo del SNII), hasta más de 46,000 pesos mensuales para los SNII nivel 3 y eméritos (niveles más altos), adicionales a los sueldos que ya perciban en las instituciones donde laboran. A esto hay que sumarle otros beneficios que pueden tener lo(a)s investigadore(a)s al interior de sus instituciones, pues al ser parte del SNII, es más fácil acceder a becas y estímulos, promociones laborales, descargas de horas de clases, contrataciones de asistentes de investigación, u otros recursos institucionales en apoyo de la propia investigación.

Estos diversos beneficios desafortunadamente han promovido entre alguno(a)s investigadore(a)s una apreciación distorsionada sobre lo que implica hacer buena o mala ciencia, asumiendo erróneamente que más recursos implican más gloria y fama, y que quien no entre al esquema del SNII de publicar cada vez más y no necesariamente con mejor calidad, nunca será reconocido(a) por su trabajo. Desde esta perspectiva, parece perfectamente justificable recurrir a algunas cuantas malas prácticas para publicar más y en revistas que con un mayor factor de impacto, aunque para ello se tenga que distorsionar también el trabajo colaborativo y la investigación interdisciplinaria, convertida ahora en muchos casos en grupos de investigación que en conjunto se apoyan y solapan en otros tipos de malas prácticas que requieren de la complicidad de más investigadore(a)s, como algunas de las ya mencionadas.

Otro elemento que se ha distorsionado en beneficio de lo(a)s investigadores y las propias instituciones educativas, es la obtención de grados académicos

mediante tesis u otros informes de investigación. En respuesta a la relevancia que se ha dado al desarrollo, entrega y aprobación de tesis, como un criterio de evaluación del SNII, y también de calidad para muchos programas educativos de pregrado y posgrado, algunas instituciones han flexibilizado sus exigencias promoviendo un proceso donde todos ganan: el/la estudiante se beneficia de la obtención de un grado académico, los tutores y directores adquieren un indicador que les exige el SNII, y la institución se beneficia al incrementar sus niveles de eficiencia terminal mediante las aprobaciones de tesis, así como sus indicadores de “calidad” de sus egresado(a)s y del programa en sí mismo. Esta práctica donde todos ganan, desafortunadamente en algunas instituciones ha fomentado procesos de simulación en las revisiones y aprobaciones de los trabajos de investigación que se realizan para las tesis, afectando en gran medida la calidad de las mismas, así como la adecuada formación temprana en investigación de quienes las realizan.

A estas situaciones falta agregar otros dos factores que también se observan de manera recurrente en las instituciones educativas de nuestro país: uno es el abordaje simplista que se hace al interior de las universidades de los temas de ética en general, y de ética en la investigación en particular, minimizándolos a la existencia de códigos de ética que no se aplican, a una unidad o máximo una materia de ética profesional en las carreras, o a la instauración de comités de ética y/o bioética que no funcionan de manera correcta (si es que existen). Lo que suele predominar en realidad, es la ausencia de mecanismos claros de revisión, control, responsabilidades y sanciones, referentes a la observancia de la ética, fomentando una baja percepción de su importancia, tanto en lo(a)s estudiantes que se podrían convertir en las y los futuros investigadore(a)s, como en quienes ya se dedican formalmente a la investigación, sean o no miembros del SNII.

El segundo factor, que se vincula de manera directa con el anterior, es la mala formación en investigación temprana. Cuando quienes forman a las y los nuevos investigadores recurren a malas prácticas, e incluso lo(a)s hacen partícipes de éstas, transmiten de manera natural una idea errónea sobre lo que significa hacer buena investigación, y fomentan una perspectiva de la investigación donde “tomar atajos” hacia el reconocimiento o el éxito económico parecen ser una buena opción. Adicionalmente, si no se revisa de manera puntual

su trabajo como nuevo(a)s investigadore(a)s, por ejemplo en las revisiones y supervisiones de tesis, corrigiendo de manera respetuosa sus errores para que aprendan de ellos, se les abandona a su libre albedrío para que aprendan por su cuenta a hacer investigación, lo cual supone el enorme riesgo de que incurran en muchas de las malas prácticas que aquí se han mencionado.

Conclusiones

Ante tanta disponibilidad de malas prácticas y sabiendo los “beneficios” que puede tener su empleo, ¿cómo se puede hacer investigación sin recurrir a este tipo de trampas? En realidad, la respuesta es más simple de lo que parece, pues si bien conocerlas no es sinónimo de erradicarlas, desconocerlas en muchos casos sí lleva a reproducirlas, pues en algunas como los errores de parafraseo, el autoplagio, o la técnica del salami, no es tan simple distinguir el límite entre lo que está bien o está mal al investigar y publicar informes, y puede incluso existir un debate entre investigadore(a)s sobre su relevancia o impacto. Esto se debe precisamente a que muchas malas prácticas suelen estar normalizadas, considerándolas como una especie de mal necesario dentro de los ambientes académicos donde se hace investigación, de tal modo que algunas se justifican erróneamente en relación con sus fines, desde una especie de ética maquiavélica, o al menos utilitarista, favoreciendo así su reproducción.

La contraparte de las malas prácticas es investigar con integridad científica, desde la ética; y aunque no existe un consenso de lo que esto implica, además de la ya citada *Declaración de Singapur*, se puede recurrir por ejemplo, a componentes como los propuestos por el Consejo Nacional de Investigación y el Instituto de Medicina de Estados Unidos, organismos que desde 2002 enfatizaron que a nivel individual, la integridad científica implica un compromiso con la honestidad intelectual y la responsabilidad personal con el desarrollo de prácticas responsables de investigación, entre las que se incluyen: honestidad intelectual al proponer, realizar y reportar investigaciones; exactitud de las contribuciones presentadas en los informes; equidad en la revisión por pares; trato profesional con colegas, incluidas las comunicaciones y el intercambio de recursos; transparencia en conflictos de intereses reales o potenciales; protección y cuidado de seres humanos y/o animales incluidos en las investigaciones, y

cumplimiento de responsabilidades mutuas entre investigadore(a)s y equipos de investigación.

Un primer paso entonces para evitar hacer trampas en la investigación, es estar informado sobre el límite que existe entre lo correcto y lo incorrecto al momento de investigar y publicar hallazgos, y esto no sólo es un asunto de ética profesional, sino también personal, pues requiere un compromiso para con uno(a) mismo(a) de aprender a hacer investigación con todas las previsiones éticas y científicas requeridas, aunque esto suponga un camino un poco más largo que los “atajos” que desgraciadamente mucho(a)s investigadore(a)s en México y a nivel mundial utilizan para adquirir el éxito profesional y económico de manera más ágil, equiparando su calidad como personas y científico(a)s a partir de la cantidad de publicaciones que generan, y no sobre la calidad y los efectos positivos que deberían tener sus investigaciones para el desarrollo de su disciplina y de la sociedad en general.

Es necesario además retomar el sentido de lo que significa ser investigador(a). Investigar proviene de dos etimologías latinas: *investigāre* (buscar e indagar), y *vestigium* (en busca de una huella, de una pista u origen). De tal forma que ser investigador(a)r se refiere más a una vocación que a una profesión; como vocación, se investiga con la finalidad de hallar la respuesta a preguntas relevantes para la ciencia y la humanidad, y no únicamente para publicar artículos que se traduzcan en más ingresos económicos; como vocación, la investigación en sí misma es la razón de ser de un investigador(a), y la ganancia principal de investigar está implícita en el propio quehacer de la investigación, y no en los posibles beneficios económicos que se espera obtener.

Es importante aclarar que esto no implica que investigar sea una actividad ardua y poco reconocida, la verdad es que se puede vivir muy bien como investigador(a) adscrito(a) a una universidad u otra institución, haciendo buena investigación; y se puede adquirir prestigio y éxito profesional en cualquier disciplina en que se investigue, sin necesidad de recurrir a malas prácticas, aunque esto implicará sin duda que el camino sea un poco más largo. No obstante, si como un buen viajero o viajera se aprende a disfrutar y a aprender del camino recorrido hacia el lugar de destino, entonces el viaje en sí mismo puede estar lleno de pequeños logros y dichas.

Lecturas recomendadas

- Arango R., P. (2014). Conflicto de intereses en investigación. *Producción + Limpia*, 9(5), 36-44. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5001933.pdf>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2024). *Código Penal Federal*. <https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/cpf.pdf>
- Espinoza, E., y Alger, J. (2014). Integridad científica: Fortaleciendo la investigación desde la ética. *Revista Médica Hondureña*, 82(3), 126-128. <http://www.bvs.hn/rmh/pdf/2014/pdf/vol82-3-2014-11.pdf>
- García-Bullé, S. (2021, 14 de abril). *Los «paper mills» y la integridad académica*. Observatorio del Instituto para el Futuro de la Educación. <https://observatorio.tec.mx/edu-news/paper-mills/>
- Hill, S. (2020, 19 de marzo). Citation Farms and Circles of Self-Citation. *The Big Idea*. <https://research.uh.edu/the-big-idea/what-went-wrong/citation-farming-self-citation/>
- Lam D., R. M. (2018). Mala conducta científica en la publicación. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 34(1), 96-101. http://scielo.sld.cu/pdf/hih/v34n1/a12_546.pdf
- Litewka, S. (2017, 22 de septiembre). *Conceptos sobre integridad en la investigación científica. Posicionamiento y perspectivas internacionales*. [Diapositivas PowerPoint]. <http://redceih.bvs.hn/wpcontent/uploads/2016/09/litewka.integridad.pdf>
- National Research Council & Institute of Medicine. (2002). *Integrity in scientific research: Creating an environment that promotes responsible conduct*. Washington: The National Academies Press. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24967480/>
- Venegas, C., y Fuentes, R. (2023). Una revisión de los tipos de fraude científico más frecuentes. *International Journal of Odontostomatology*, 17(2), 200-205. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-381X2023000200200>
- World Conferences on Research Integrity (WCRI). (2010). *Declaración de Singapur sobre la integridad en la investigación*. <https://www.wcrif.org/downloads/former-conferences/2nd-wcri-in-singapore-2010/translations-statements>

¿Qué tan inteligente es el Chat GPT?

ANTONIO PONCE ROJO^{*}
YOLANDA MAGAÑA LÓPEZ^{**}
FABIÁN MORALES COBOS^{***}

El Chat GPT³ fue puesto a disposición del público en noviembre de 2022 por la empresa californiana *Open AI* y, desde entonces, ha sido todo un fenómeno mediático. Su viralización lo llevó a tener 10 millones de usuarios diarios a las cinco semanas de su lanzamiento y cinco meses después, alcanzó los 60 millones de usuarios. Con estas cifras batió el récord de más rápida popularidad, que *Instagram* había establecido al alcanzar los 10 millones de usuarios en un solo año, allá por el 2018 (SimilarWeb, 2024).

La principal razón de la popularidad del Chat GPT es la manera en la que esta aplicación, producto de lo que se conoce como *inteligencia artificial generativa*, responde a las preguntas y ejecuta las tareas que los usuarios le pueden encomendar; misiones que van desde la descripción de una receta de cocina o la redacción de una carta de recomendación, hasta la resolución de problemas matemáticos y la explicación de fenómenos en cualquier campo del saber.

^{*} Departamento de Ciencias de la Salud, Centro Universitario de los Altos, Universidad de Guadalajara.

^{**} Departamento de Humanidades, Artes y Culturas Extranjeras, Centro Universitario de Los Lagos, Universidad de Guadalajara, México.

^{***} Depto. de Estudios Jurídicos, Sociales y de la Cultura de CUALTOS

² Su nombre viene de *Chat*, que es la manera en la que se ha identificado a los sistemas que interactúan mediante mensajes en texto o audio, con los usuarios y que es la manera corta de Chat Bot, o robot que conversa, añadiéndose al final las siglas GPT, de *Generative Pretrained Transformer*, que hace referencia al tipo de tecnología que este Bot usa para funcionar.

En este capítulo se busca dar respuesta a una pregunta que es lógica cuando consideramos que el Chat GPT se promueve como una herramienta *inteligente*: ¿qué tan inteligente es esta aplicación? Para ello, analizaremos inicialmente, la manera en la que se debe entender a la inteligencia y sus características esenciales: Primero, su naturaleza múltiple y no unitaria; segundo, la manera en la que se concibe su estructura con base en una organización jerárquica de lo que llamamos *procesos cognitivos*, y, tercero, la visión de la inteligencia como un fenómeno que no es exclusivo de los seres humanos. Con base en este análisis, presentaremos las características del Chat GPT, sus funciones, capacidades y limitaciones, para finalizar con una valoración acerca del nivel de inteligencia que, considerando todo lo anterior, caracteriza a esta herramienta.

Las definiciones populares y científicas de la Inteligencia

La inteligencia ha sido reconocida a lo largo de la historia, como una propiedad de los seres humanos. Pero si tratamos de ahondar más en lo que el término refiere, nos encontramos con que existe una gran diversidad de criterios que llevan a que alguien sea reconocido como inteligente; a veces es la efectividad con la que se resuelven problemas, otras veces tiene que ver con la amplitud del lenguaje y las formas en las que éste se usa; o incluso, se llega a asociar con el nivel de estudios alcanzados o con la capacidad para establecer relaciones sociales.

Estos significados del término *inteligencia* no han sido muy útiles cuando se ha tratado de estudiarla, medirla o incluso, desarrollarla. Por ello, para abordar fenómenos como este, se ha recurrido a la ciencia y sus métodos, buscando contar con formas claras, objetivas y precisas para poder concebirlos, y a partir de ello, tener la posibilidad de idear estrategias para un conocimiento profundo. La ciencia a la que inicialmente se le ha encomendado la tarea de ofrecer una definición ha sido la psicología, que, para lograr la encomienda, se ha basado en las conductas que se consideran como inteligentes, con el requisito de que sean planteadas de manera que se les pueda observar, medir y registrar.

El estudio de las conductas inteligentes ha llevado a la conclusión de que no se trata de una propiedad unitaria del ser humano, sino que se más bien, implica la existencia de *diferentes tipos de inteligencias*. En este tenor, el psicólogo estadounidense Howard Gardner (1983) propuso la *Teoría de las Inteligencias*

Múltiples que establece que hay diferentes dominios de la inteligencia que nos llevan a hablar de múltiples inteligencias:

1. *Inteligencia lingüística*, que hace referencia a la habilidad que una persona tiene para usar el lenguaje de forma efectiva. Esta habilidad está evidentemente más desarrollada en los escritores, los poetas y los traductores, pero también es observable en individuos que realizan otras actividades y son altamente efectivos en el uso del lenguaje.
2. *Inteligencia lógico-matemática*, que implica el desarrollo de habilidades para resolver problemas lógicos y matemáticos, así como la capacidad para poder trabajar con símbolos y abstracciones. Estas habilidades no solamente se encuentran en personas dedicadas a actividades relacionadas con las ciencias duras, sino que también las podemos encontrar en personas con alto nivel de argumentación o de pensamiento crítico.
3. *Inteligencia espacial*, que hacer referencia a las habilidades desarrolladas para el desarrollo de proyectos que implican el manejo eficiente de tres dimensiones, como es el caso de ingenieros y arquitectos, o para el cálculo de distancias y dimensiones.
4. *Inteligencia musical*, que se relaciona con el manejo eficiente de ritmos, tonos y sonidos, que por supuesto, encontramos en músicos y compositores, pero también en jinetes, deportistas o quienes realizan actividades que requieren la identificación de patrones auditivos o de eventos en cualquier modalidad.
5. *Inteligencia corporal-kinestésica*, que se relaciona con la capacidad para poder realizar actividades que requieren movimientos finos y precisos, como el caso de bailarines o atletas, pero también de cirujanos, dibujantes o artesanos.
6. *Inteligencia interpersonal*, que hace referencia a la habilidad para interrelacionarse con otros, asumir roles en el trabajo en equipo, incluyendo el liderazgo, la puesta en marcha de proyectos o la organización y división de trabajos, todo ello, a partir de la interacción con otros.
7. *Inteligencia intrapersonal*, que refiere a la habilidad para el autoconocimiento y la comprensión propia. Esta habilidad tiene componentes metacognitivos que implican la habilidad para que un individuo esté consciente de la manera en la que realiza sus propios procesos cognitivos.

8. *Inteligencia naturalista*, que se define como la capacidad para identificar y reconocer patrones en la naturaleza.

Estos tipos de inteligencia, de acuerdo con Gardner no se encuentran de manera pura o aislada en las personas y, de igual manera, cualquier actividad humana se compone, en diferentes grados, de las habilidades que se integran en estas categorías.

Otro elemento importante en la propuesta de Gardner es que cada uno de estos dominios de la inteligencia puede estar desarrollado en diferentes niveles en cada persona y no por ello podemos decir que una es menos o más inteligente que la otra. Ante esta visión de la inteligencia con diferentes dominios, su medición se vuelve compleja. Por ejemplo, mientras que un individuo puede tener un gran desarrollo de la inteligencia lógico-matemática con un nivel bajo en el desarrollo de los demás tipos, y otro, puede contar con un alto nivel de desarrollo en la inteligencia musical, un bajo nivel de desarrollo en la de tipo interpersonal y un desarrollo promedio en el resto de los tipos de inteligencia, carece de sentido tratar de identificar si uno es más inteligente que el otro, lo que implica entonces, la necesidad de dar cuenta del nivel de desarrollo que se ha alcanzado en cada dominio.

Los Procesos cognitivos como componentes de la inteligencia

Si bien Gardner habla de la inteligencia humana y no de inteligencia artificial, usamos aquí su propuesta para presentar a la inteligencia, no como algo unitario, sino como la articulación de una serie de procesos cognitivos orientados a tareas específicas enmarcadas en distintos dominios de la actividad inteligente.

De acuerdo con Anderson (2015) los procesos cognitivos son aquellas actividades, a menudo llamadas mentales o intelectuales, mediante las cuales los individuos adquieren, almacenan, procesan y aplican la información en contextos determinados.

Estos procesos se pueden clasificar en tres grandes niveles, de acuerdo con Diamond (2013):

- a. Los procesos cognitivos básicos, entre los que podemos ubicar a la atención, la percepción, la orientación espacial, entre otras.

- b. Los procesos cognitivos de nivel intermedio, entre los que encontramos la memoria a corto y largo plazo, la identificación de diferencias, la comparación, la clasificación, el procesamiento del lenguaje, igualmente entre muchas otras, y
- c. Los procesos cognitivos de alto nivel, como el pensamiento crítico, el pensamiento creativo, la metacognición, la toma de decisiones, por mencionar solo algunas.

Esta organización jerárquica de los procesos cognitivos implica que, a manera de bloques, las más simples se conjugan para conformar habilidades de un orden superior, por ejemplo: la *percepción visual*, la *identificación de diferencias*, la *identificación de patrones*, la *memoria a corto plazo* y la de *largo plazo*, así como la *comparación*, son la base para un proceso de orden superior que se conoce como *análisis*, que, a su vez, junto con otros, conforma lo que se conoce como *clasificación*. De igual manera, este proceso, articulado con otros de mayor nivel, conforma al *pensamiento crítico*.

Los tipos de inteligencia de Gardner, bajo este enfoque, estarían compuestos por estos procesos cognitivos organizados jerárquicamente, de acuerdo con lo que Anderson propone.

Si hacemos un resumen hasta este momento de lo que en este capítulo hemos analizado, tenemos dos ideas fundamentales: la primera de ellas es que la inteligencia no es algo unitario sino que realmente tiene muchos componentes que la integran y la segunda es que, estos componentes o *procesos* son de distintos niveles y están organizados de manera jerárquica de lo simple a lo complejo; A continuación abordaremos las últimas dos ideas fundamentales que necesitamos para responder a nuestra pregunta sobre qué tan inteligente es el Chat GPT.

La inteligencia como una propiedad que no es exclusiva de los seres humanos

La tercera idea fundamental para poder dar respuesta a nuestra pregunta se basa en el reconocimiento de que el individuo no es el único que posee esta propiedad. Para ello presentamos a continuación una propuesta que data de inicios del siglo pasado que reconoce la existencia de inteligencia en otros organismos vivos y después, una propuesta de finales del mismo siglo en la

que se amplía esta propiedad ya no solamente a seres vivos, sino también a máquinas o sistemas.

En los inicios de la primera guerra mundial, el siglo pasado, psicólogos alemanes realizaron experimentos con chimpancés en las Islas Canarias llegando a la conclusión de que era posible observar en estos animales, conductas de resolución de problemas y toma de decisiones que, podrían ser categorizadas como inteligentes. Por ejemplo, se colocaban plátanos pendientes de una cuerda a una altura suficiente de manera que el chimpancé no pudiese alcanzarlos saltando. Asimismo, se ponían a su alcance, cajas de madera, dispuestas desordenadamente en el piso y que, solamente apiladas permitían que se alcanzara el alimento. En estos experimentos, los animales presentaban primero conductas que sugerían un análisis del problema, mirando hacia la comida pendiente de la cuerda y hacia las cajas, revisando todo el espacio, y después de unos minutos, apilaban las cajas para alcanzar el alimento. No se trataba de comportamientos de ensayo y error, sino que después de lo que sugería una fase de análisis, se iniciaba con la estrategia de solución hasta su consecución.

Estos experimentos también permitieron identificar las limitaciones que los chimpancés tenían para poder resolver efectivamente el problema, dado que, si no estaban todas las cajas en el mismo plano de percepción del alimento pendiente de la cuerda, es decir, si no estaban a la vista al mismo tiempo, el alimento y las cajas, el animal no era capaz de resolver el problema. Esta limitación, que fue llamada *Dependencia del campo perceptual* (Koffka, 1922), marcaba la diferencia entre los chimpancés y los seres humanos, ya que éstos últimos son capaces de resolver problemas similares, aun cuando no todos los elementos que se usan para llevar a cabo la estrategia de solución, estén al mismo tiempo en su campo visual, lo que llevó entonces a la noción de que existen animales que exhiben comportamientos con niveles menores de inteligencia que los de los seres humanos, pero que no obstante, pueden ser llamados *inteligentes*.

Hutchins (1995), 80 años después, planteó que, tanto el pensamiento como el procesamiento de la información no solamente se pueden encontrar en el ser humano de manera individual, sino que es posible concebirlos *más allá del individuo*, por ejemplo, en los sistemas compuestos por las interacciones entre varias personas, e incluso, reconoce la posibilidad de que existan *extensiones de la inteligencia* en las que participan artefactos y herramientas tecnológicas en situaciones específicas, con lo que se puede hablar de una *cognición distri-*

buida y se da pie a la consideración de que los productos de lo que llamamos inteligencia artificial, se incluyan en esta concepción ampliada de la cognición.

Funcionamiento del Chat GPT, alcances y limitaciones

El Chat GPT es una de las aplicaciones más famosas de la Inteligencia Artificial. Se enmarca en lo que se conoce como *Grandes Modelos de Lenguaje* y sorprendentemente puede ofrecer respuestas coherentes a las preguntas que hacen los usuarios.

El funcionamiento de esta herramienta se basa en un sistema que ha sido alimentado con grandes cantidades de textos obtenidos de Internet y que funciona con base en la descomposición de las palabras y su asociación en grupos, considerando una inmensa cantidad de contextos posibles. Con base en estos contextos y el cálculo de probabilidades, se predicen cadenas de palabras que al final, al ser presentadas al ser humano, son coherentes, articuladas y pertinentes.

Para poder entender la manera en la que el contexto es considerado, vamos analizando el siguiente ejemplo: cuando un ser humano sostiene una conversación con otro, ambas personas, no solamente están analizando las palabras que estructuran la interacción, sino que también consideran los contextos en los que estas palabras se están utilizando. Si, por ejemplo, se está hablando de vestidos y uno de los dos menciona que ha visto algo “bonito”, se asume, con base en el contexto, que se está hablando de una característica de los vestidos que son el centro de la conversación, y aun cuando existe un pez que se llama “bonito” o hay un pueblo en Brasil con el mismo nombre, no se interpreta erróneamente el significado que esta palabra tiene, precisamente, gracias a este contexto. Por esta razón, no vienen a la mente de quienes conversan en este ejemplo específico, conceptos como escamas o muelle, dado que no son usuales en este marco.

En estos modelos de lenguaje como el Chat GPT, las probabilidades de sentido de cada palabra en el marco de cada contexto, así como los distintos niveles de asociación de éstas con otras, se calculan usando redes neuronales artificiales, que son sistemas de cómputo que funcionan con base en la simulación basada en simplificaciones de algunas propiedades identificadas en las neuronas y en los sistemas nerviosos de los organismos. El uso de este tipo de simulaciones permite considerar, en este cálculo de probabilidades, miles de millones de

contextos, palabras y asociaciones, con lo que las respuestas bien podrían ser iguales a las que un ser humano podría dar o incluso mejores, considerando que en estos contextos se encuentran incluidos todos los campos del saber y, asimismo, la mayoría de los lenguajes del mundo.

Sin embargo, hasta las versiones más recientes a finales del 2024 y principio del 2025, comienza a incorporarse en el Chat GPT un sistema de razonamiento que permite mejorar las respuestas que el sistema ofrece, con lo que escalaría un peldaño en los niveles de inteligencia que podrían asumirse para este tipo de sistemas.

Con base en lo anterior ¿Qué tan inteligente es?

Como ya se ha dicho, el Chat GPT es una de las tecnologías más impactantes y difundidas en la actualidad, e incluso, se ha erigido ya como el estandarte de la *inteligencia artificial*, aun cuando solamente es un caso ubicado en un subconjunto del gran universo de sistemas que la integran. Lo paradójico es que, con base en todo lo anterior aquí expuesto, esta herramienta quizá sea una de las menos inteligentes entre todas las herramientas creadas en este campo.

Tan rápidamente como se han difundido las virtudes y ventajas del uso del Chat GPT, también se ha propagado información acerca de sus limitaciones, que han ocasionado que se aconseje prudencia al momento de interpretar sus respuestas, ya que no son cien por ciento confiables, debido a errores, sesgos, y lo que se ha llamado “alucinaciones”. Todos estos problemas se presentan de cuando en cuando y sobre todo en los casos en los que la tarea que se encarga a esta herramienta aumenta en complejidad, por ejemplo, en el caso de acertijos, solución de problemas matemáticos de alto nivel, cuando se le solicitan elaboraciones o composiciones con características poco usuales o cuando se emplean recursos literarios complejos como la ironía y el doble sentido y la ambigüedad. A estos problemas se suman limitaciones técnicas relacionadas con su capacidad para retener información para llevar “el hilo de la conversación” mucho tiempo, debido a su “memoria de corto plazo”. Sin embargo, estos problemas y limitaciones se presentan cada vez menos debido a que se están liberando versiones nuevas casi a diario con mejoras que buscan abatirlas.

No se pretende, con lo anterior, ignorar o demeritar la gran utilidad que el Chat GPT ha demostrado tener en todos los ámbitos de la actividad humana

y prueba de ello es el número creciente de usuarios, a pesar de todo, que en agosto del 2024 alcanzó los 200 millones por semana (Silverio, 2024).

Es necesario aclarar también que, cuando hablamos de un nivel bajo de inteligencia para estas herramientas, solamente nos referimos al estado actual, sin que ello implique que no se reconozca que la evolución a corto y mediano plazo de estos sistemas permite prever que alcanzará mayores y significativos niveles. Las nuevas versiones de Chat GPT colocan en segunda prioridad la rapidez de respuesta para comenzar a ofrecer respuestas que sean producto de procesos de razonamiento lógico verificable y no solamente derivadas del cálculo de probabilidades.

Esta revisión de las prioridades se ha realizado también como una medida para avanzar hacia lo que se conoce como la *Inteligencia Artificial General* que busca, no solamente elevar la calidad de las respuestas que los sistemas ofrecen, sino que pretende lograr elementos de la inteligencia humana que no ha sido posible obtener hasta ahora, como el sentido común, la innovación, la intuición, la creatividad, el autoconocimiento, la metacognición, el razonamiento causal profundo, el aprendizaje experiencial, así como la comprensión completa y holística; mucho menos puede modular todas estas habilidades cognitivas de alto nivel con base en experiencias emocionales y motivaciones.

Finalmente, con base en todo lo anteriormente expuesto, el Chat GPT es una herramienta con niveles limitados de inteligencia actualmente, pero crecientes día con día. Se caracteriza por una inteligencia que hasta ahora es *funcional*, es decir, que le permite cumplir con tareas que requieren de inteligencia para su logro, pero sin que haya comprensión por parte del sistema acerca de lo que está realizando; una inteligencia que, no obstante estas limitaciones, ha demostrado que, articulada con la mente humana a manera de extensión, permite facilitar mucho de las labores que cotidianamente debe realizar el ser humano y que hasta hace muy poco tiempo se creía que solamente éste podía realizarlas.

Referencias

- Anderson, J. R. (2015). *Cognitive Psychology and Its Implications*, Carnegie Mellon University: Worth Publishers.
- Diamond, A. (2013). "Executive Functions". *Annual Review of Psychology*, 64, 135-168.

- Gardner, H. E. (2011). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic books.
- Hutchins, E. (1995). *Cognition in the Wild*. MIT Press.
- Koffka K. (1922) Perception: An introduction to the “Gestalt-Theorie”. *Psychological Bulletin*. 19, 531–585
- Silverio, M. (2024), ChatGPT: número de usuarios y estadísticas, *PrimeWeb*, disponible en: <https://www.primeweb.com.mx/chatgpt-usuarios-estadisticas>
- SimilarWeb (2024). *Chat GPT Análisis del Sitio Web para diciembre del 2024*, disponible en <https://www.similarweb.com/es/website/chatgpt.com>

¿Una nueva faceta de la migración México-Estados Unidos gracias a *Facebook*?

LETICIA HERNÁNDEZ VEGA*

Desde su creación a finales de la década de los noventa del siglo pasado, es decir hace ya casi treinta años, las redes sociales virtuales han tenido un impacto profundo en la vida cotidiana de las personas de cualquier parte del mundo. Gracias a estas redes podemos hablar de nuevas formas de conocer el mundo, mantenerse al tanto de lo que sucede en cualquier parte que nos interese y quizá lo más importante, comunicarnos con quien queramos. Desde la cocina de nuestros hogares podemos estar conectados con los astronautas en la estación espacial, hasta con buzos en las profundidades del mar.

Tal ha sido el impacto de las redes sociales que incluso han transformado fenómenos sociales que hemos vivido a lo largo de la historia, como los desplazamientos globales que las personas realizan de un lugar a otro por muy diversos motivos. Gracias a que podemos conectarnos a través de redes sociales virtuales desde cualquier lugar utilizando un teléfono celular, tanto quien viaja, como aquellos que se quedaron en el origen, pueden estar en constante y estrecha comunicación, con lo que el gran componente trágico que se asocia con el dejar el terruño, se ve atenuado por la posibilidad que las redes ofrecen para seguir “estando presentes” aunque ahora de manera virtual, con los suyos.

* Centro Universitario de Ciencias Sociales y Humanidades, Universidad de Guadalajara.
Correo electrónico: leticia.hvega@academicos.udg.mx

Pero lo anterior es tan solo una de las maneras en las que la migración se ha visto transformada por las redes sociales. Las redes sociales no solamente impactan en la dimensión *privada* de las personas que migran, sino que también impacta en la dimensión *pública*. Tomemos por ejemplo, el caso de los mexicanos que migran a los Estados Unidos, fenómeno social que tiene por lo menos 150 años; ahora, más que nunca, quienes *se van al norte* (como popularmente se dice) hacen uso de toda la tecnología digital disponible, no sólo para estar presentes y no ser olvidados por los suyos, lo que sería parte de *lo privado*, sino también las usan para mantener cercanía simultánea y cotidiana con los asuntos públicos, ahora de sus dos comunidades, aquella en la que actualmente residen y por supuesto la otra, en la que antes vivían.

Es con base en lo anterior vale la pena preguntarse si ¿podemos hablar de una nueva faceta de la migración mexicana a los Estados Unidos gracias a las redes sociales? para lo cual se tomará el ejemplo de *Facebook*, que es la red social más popular en el mundo, con 3.07 mil millones de usuarios activos al mes (DataReportal, 2025) y la más utilizada por la comunidad migrante radicada en Estados Unidos. A partir de lo que sucede en *Facebook*, en este documento se presenta la manera en la que esta red social ha transformado tres de los procesos más significativos que tienen lugar en torno a la migración internacional México-Estados Unidos: las formas de comunicación, los puntos de encuentro y las estrategias de ayuda a las comunidades de origen; para lo cual, se presenta como evidencia el caso de los migrantes mexicanos en los Estados Unidos.

Facebook y la transformación de la comunicación entre migrantes

A lo largo de la historia de la migración, la comunicación ha sido un elemento de suma importancia tanto para los que se van como para los que se quedan, así lo demuestran los distintos medios por los cuales históricamente los migrantes han estado en contacto. Las *cartas* y los *telegramas* fueron por mucho tiempo, las principales formas de comunicación y el medio principal para llevar y traer noticias. Las cartas se convirtieron en objetos valiosos y deseados por los migrantes y sus familias; recorrían kilómetros en carreta, tren, autobús o avión, para llegar a su destino final, semanas o meses después de haber sido enviadas; en ellas viajaban emociones, sentimientos, recuerdos, infortunios y

noticias dolorosas. Eran escritas en lenguaje coloquial y en la mayoría de los casos sin respetar reglas ortográficas debido al origen rural de los migrantes; lo que importaba no era el tipo de escritura, sino el mensaje que llevaban dentro.

Por su parte, los *telegramas* fueron una forma más breve y rápida que aceleró el proceso de comunicación, aunque la brevedad del mensaje eliminó las emociones y sentimientos que se compartían a través de las cartas. La empresa The Western Union Telegraph Company con más de 25 mil sucursales en la Unión Americana y la Compañía Telegráfica Mexicana² contribuyeron para conectar las comunidades de migrantes entre México y Estados Unidos.

El *teléfono* revolucionó las comunicaciones, ya que por primera vez era posible establecer contacto con los seres queridos en tiempo real y de viva voz. Aunque la primer conferencia telefónica entre México y los Estados Unidos se realizó en 1883, de la ciudad tamaulipeca de Matamoros a la ciudad texana de Brownsville, que se encuentran a una distancia de 4.5 kilómetros por carretera, no fue sino hasta la década de los cuarenta del siglo pasado que había terminales telefónicas en muchas de las ciudades mexicanas, de manera que fuera realmente una opción entre las diversas formas de comunicación. Estas terminales estaban principalmente en tiendas o establecimientos comerciales y quienes podían usar este medio para comunicarse con sus familiares migrados a los Estados Unidos, tenían que trasladarse a los lugares en donde estaban disponibles, inconveniente al que había que añadir el hecho de que el servicio era caro, estableciéndose una tarifa por conexión y un cobro adicional por cada minuto transcurrido. El problema de la privacidad se solucionó cuando a principio de la década de los setenta, el teléfono comenzó a popularizarse y cada vez más hogares en las principales localidades de México contaban con este servicio, sin embargo, aún persistía el alto costo de las llamadas de larga distancia, que obligaba a que la comunicación fuera breve.

Otra forma de comunicación que resultó ser muy utilizada entre las comunidades de migrantes fueron los *medios impresos*. Las revistas o boletines informativos que publicaban los clubes o asociaciones de migrantes en Estados Unidos, permitían que los migrantes se pusieran al tanto de las noticias tanto en el origen como en el destino. Sin embargo, esta forma de informarse era casi

2 <https://www.mexicodesconocido.com.mx/telegrafo-en-mexico-historia-completa.html>.

exclusiva para los migrantes en el destino ya que rara vez era accesible para sus familiares en el origen. De igual manera, la *radio* y después la *televisión* también ganaron lugar como espacios para la información de los migrantes en el destino. Locutores de radio latina en Chicago (en entrevistas con la autora) relataron como incluso se usaba este medio para avisar a los migrantes ilegales acerca de redadas realizadas por los oficiales de migración, anunciando al aire en clave la ubicación de las mismas con mensajes como “... tengan cuidado amigos, porque la tía anda por La Villita³ y se ve que está enojada...” (Locutor de radio, comunicación personal, 2007).

La comunicación entre migrantes también sucedía a través de los *mensajeros*, es decir, personas que contaban con residencia legal en Estados Unidos y que con facilidad podían ir y venir a sus pueblos llevando consigo objetos, dinero, cartas, recados y todo tipo de encargos que podrían ser requeridos en el lugar de origen. Los mensajeros viajaban en autobús, automóvil o avión llegando a ser muy apreciados y valorados entre las comunidades por la confianza depositada para trasladar los encargos hasta su destino final. Todas estas maneras de comunicación conformaron la llamada *primera generación de la comunicación migrante*.

En 1993 surge una nueva tecnología, a través de un módem, para quienes ya estaban conectados a Internet mediante el teléfono. Esta tecnología fue conocida como la *World Wide Web* a partir de la cual era posible acceder a las *páginas web*, que en su primer etapa se acercaban mucho a lo que podría ser la versión digital de los medios impresos. Al usar estas páginas, quienes tenían acceso a Internet en México, podían leer periódicos y acceder a los noticieros que permitían enterarse de lo que pasaba en localidades específicas en los Estados Unidos, aunque sin poder saber de manera particular acerca de sus seres queridos. Sin embargo, esta tecnología, en breve, permitió crear lo que sería el antecedente inmediato de las redes sociales, los *weblogs* que incluían foros de discusión en donde ahora sí, la comunicación se daba a las dos escalas: *personal* y *comunitaria*. En estos foros, las personas publicaban mensajes dirigidos a sus seres queridos y ahí mismo, podían encontrar la respuesta emitida por

3 La Villita es uno de los barrios mexicanos más antiguos en la Ciudad de Chicago Illinois, en el que se estima, de acuerdo con el censo del 2020, que la población mexicana alcanza los 50 mil habitantes (Enlace Chigago.org 2025).

ellos. Estamos hablando de la década de los noventa del siglo pasado; quienes no contaban con una computadora en su casa o acceso a internet, asistían a espacios públicos, los *cibercafés* en donde podían revisar los mensajes publicados en los foros y de igual manera, realizar sus propias publicaciones. Estos espacios como puede verse, transformaron las estrategias de comunicación entre los migrantes y los suyos dándose lo que se llamó la *segunda generación de la comunicación migrante* (Hernández y Ponce, 2009).

Las *redes sociales* desde su surgimiento, demostraron su valor al integrar las tecnologías anteriores en un solo dispositivo. No solo ya no era necesario ir al *cibercafé*, dado que el acceso se podía realizar a muy bajo costo desde el propio teléfono móvil, sino que además, en el mismo espacio virtual, las personas podían enterarse de las noticias comunitarias; de lo vivido por los seres queridos, incluso con acceso a fotografías, y, además, se podían mantener conversaciones en tiempo real por audio y video, lo que al poco tiempo permitió el acceso a transmisiones en vivo. Con todas estas facilidades, los migrantes pudieron presenciar e interactuar a través de video en tiempo real, celebraciones de cumpleaños, fiestas patronales, velorios, bodas, procesiones, etc. Por lo anterior, las redes sociales son hoy en día, una herramienta indispensable en la vida cotidiana de los migrantes ya que se han constituido en la plataforma para denominada *la tercera generación de la comunicación migrante* manteniendo vivos los lazos sociales a pesar de la distancia física (Hernández, 2018).

Así, *Facebook* como la red social más usada en México y en los Estados Unidos para mantener comunicación con los familiares, de acuerdo con Data-Reportal (2025), hoy en día funciona como exitoso punto de encuentro entre los migrantes; los que se fueron encontraron en esta red social un espacio amigable que no requería conocimientos tecnológicos para su uso con facilidades para compartir contenidos y de igual manera, los que se quedaron, encontraron en ella una manera simple, barata y accesible para mantener contacto inmediato con los seres queridos. Gracias a *Facebook*, entonces, las comunidades distantes han logrado mantener vivos y fortalecidos sus lazos afectivo-identitarios.

Facebook y la transformación de los puntos de encuentro

Si hacemos un poco de historia, en México desde hace mucho tiempo *los mercados tradicionales*, además de ser centros de abastecimiento han sido lugares

públicos de encuentro donde las costumbres cobran vida. En torno al mercado ha sucedido lo cotidiano, lo ordinario, el encuentro con los otros, la comunicación cara a cara; ahí se ha organizado, desde la comida del día hasta las festividades más importantes de los pueblos. Los mercados, además de cumplir funciones económicas han cumplido funciones sociales y aglutinadoras (Marroquín, 2012); el mercado tradicional además ha fungido como un contenedor de memorias, tradiciones e historias (Ramo *et al*, 2023).

Otro punto de encuentro por excelencia ha sido la *plaza pública*; desde la época colonial hasta las décadas posteriores a la Revolución Mexicana, en la mayoría de localidades de México, la *plaza pública* ha sido un lugar de reunión y el espacio en donde las personas se han enterado de aquello que hay que saber sobre lo que pasa en la comunidad (Campos, 2011). En la época colonial “Las plazas... servían de mercados públicos, de ordeña de vacas, de chiqueros de cerdos, de lugar donde... los primeros frailes predicaban el cristianismo... también como lugar donde los indios, mestizos, mulatos y otras castas pregonaban sus mercancías en variados tonos...” (González, 1927:79-83). A través de los años las personas han utilizado las *plazas públicas* para ver y ser vistos, para el encuentro y el reencuentro, para conocer y reconocer a los otros, para reafirmar su identidad y cultura y asimismo, lo han usado como espacio de expresión social.

En la época actual las funciones del mercado y de la *plaza pública* han cambiado; siguen siendo puntos de abastecimiento o de reunión, pero poco a poco se ha ido desdibujando su función social. En los pueblos y ciudades pequeñas, esta función se conserva, pero poco a poco, han ido cediendo su encomienda, como ha sucedido ya en las grandes ciudades, a los centros comerciales y a los espacios virtuales que ahora suplen las necesidades económicas y sociales .

Los que se han ido del lugar de origen, los que han migrado por diversos motivos, al alejarse de su lugar de residencia para asumir uno nuevo muy lejos y con culturas diferentes, ya no cuentan con la *plaza pública*, el mercado o los centros comerciales de sus lugares de origen para el encuentro con los otros. Incluso, si su estadía en el nuevo lugar no es legal, es muy complicado usar sus espacios físicos para tratar de estar en contacto con quienes, al igual que ellos, han migrado y comparten total o parcialmente, algo de su cultura. Esos que se fueron, han tenido que buscar alternativas de comunicación en los

medios digitales para reencontrarse con los que se quedaron en el origen y con los otros que también se fueron, como lo apunta Flores “Los medios digitales son muy relevantes en la vida de los migrantes, desde el nivel interpersonal privado o semiprivado –ellos mantienen el contacto con los suyos a través de *WhatsApp*, *Messenger* y *Facebook*– hasta el nivel de la expresión pública... los medios digitales representan la oportunidad de estar cerca, de mantener vivos los vínculos con México.” (Flores, 2019: 11).

En la migración, el papel de las redes sociales ha sido sumamente relevante, dado que les permite interactuar con los de aquí y los de allá, que son las dos realidades que viven los migrantes; les permiten hacer puentes de solidaridad, amor y apoyo, que incluso les permiten llegar a asumir roles en la distancia (Oroza y Puente, 2017:15). Un punto de encuentro más han sido las festividades en las comunidades, ya sea a pequeña escala, entre familias, vecinos y amistades, como en el caso de las reuniones familiares a propósito de nacimientos, bautizos, bodas, etc., o también a escala comunitaria como en el caso de fiestas patronales, fiestas patrias o eventos políticos, entre muchos otros. La migración antes de las redes sociales marginaba estas festividades en ambas escalas, dado que a quienes se iban les era muy complejo volver; no solo se trataba de una inversión económica que no todos se podían permitir, sino que también en el caso de los migrantes sin documentos legales, volver a México por estos motivos significaría no poder regresar a Estados Unidos nuevamente.

La migración después de las redes sociales ha facilitado a quienes no pueden volver por cualquier razón, estar presentes, desde la virtualidad, en las festividades a cualquier escala. Ahora, *Facebook* se usa como medio para transmitir en vivo fiestas patronales de una localidad para todos los migrantes originarios de la misma, independientemente de la región geográfica en la que se encuentren. Así, migrantes en Nebraska, Las Vegas, Los Ángeles, San Francisco y Washington por ejemplo, pueden estar presentes en las festividades de Tepa-Abril, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, en todos y cada uno de los eventos, ya sea en tiempo real, por las transmisiones en vivo que se hacen por *Facebook-live* o de manera asíncrona, dado que los videos se quedan guardados en la plataforma y se puede acceder a ellos en cualquier momento. Asimismo, estas transmisiones en vivo, a escala familiar, le han permitido a los migrantes, estar en una boda,

en un cumpleaños o en un velorio, en tiempo real, lo que para muchos de los migrantes antes de las redes sociales, era prácticamente imposible.

Facebook y la transformación de las formas en que los migrantes ayudan a sus comunidades de origen

Uno de los fines más comunes entre los mexicanos que han migrado a los Estados Unidos no ha sido la búsqueda de una mejor calidad de vida en el nuevo lugar de residencia, sino la posibilidad de acceder a recursos económicos que puedan hacer llegar a los suyos, es decir, a quienes se quedaron en el destino. Incluso, es común, entre quienes migran por esta razón al vecino país del norte, documentar testimonios de grandes sacrificios, viviendo una vida de muchas limitaciones, para poder hacer llegar lo que se llaman “remesas” a los familiares en México.

A lo largo de estos últimos cien años, las remesas han sido enviadas a México empleando cualquier medio posible, desde la remisión a través de un concido que regresaba a la tierra de origen, el meter billetes entre las hojas de una carta que se mandaba por correo tradicional, hasta el uso de giros telegráficos, dependiendo de la urgencia en el origen para recibir el recurso o las posibilidades de quien lo mandaba. Con la llegada de las tecnologías digitales, comenzaron a usarse otros medios para hacer llegar con regularidad la ayuda.

Asimismo, coincidente con esta evolución, los migrantes en el destino comenzaron a organizarse e idear otras formas de ayudar a la tierra de origen, pero ya no a escal individual, sino colectiva, a través de organizaciones de migrantes, financiando obras públicas, como puentes, iglesias, escuelas, pavimentación de caminos, entre muchas otras más. Sin embargo, los recursos obtenidos se limitaban al alcance que las organizaciones tenían y las convocatorias para ayudar se hacían por los medios tradicionales que aquí ya se han mencionado.

Con la llegada del uso de las redes sociales y especialmente *Facebook*, las organizaciones de migrantes vieron potenciados sus esfuerzos principalmente en dos formas: la primera de ellas es la forma en la que las plataformas digitales ampliaron la coordinación de las organizaciones; mientras que su alcance y el número de miembros se limitaba a las posibilidades de difusión y promoción entre grupos, ahora con las redes sociales, se puede llegar a cualquier persona

en cualquier parte, con lo que la complejidad de las organizaciones ha crecido significativamente así como el número de sus miembros, y por consecuencia, sus posibilidades de financiamiento. La segunda de las formas en las que las organizaciones de migrantes se han potenciado gracias a *Facebook* tiene que ver con la facilidad con la que se pueden dar a conocer causas a las que se puede sumar cualquiera y la disponibilidad de aplicaciones que permiten la recolección de fondos y el rastreo de los mismos, desde su consecución, hasta su uso. Entre estas aplicaciones que complementan el uso de *Facebook* se encuentran: *GoFundMe*, *GlobalGiving*, *Fundly*, *JustGiving*, *CrowdRise*, *MightyCause*, *Charity Navigator*, *GiveIndia*, *PayPal Giving Fund*, por mencionar solamente algunas.

Al tener un mayor nivel de alcance y también, beneficiarse de la posibilidad de rendir cuentas inmediatamente, ya que a través de sus páginas en *Facebook*, se anuncian los recursos obtenidos y se ponen al alcance de todos, documentos, fotografías y videos de las obras ya realizadas a manera de evidencia y rendición de cuentas.

A manera de conclusión

En el presente documento se ha mostrado la forma en la que *Facebook* ha transformado el fenómeno migratorio, usando para ello, el caso de los migrantes mexicanos en los Estados Unidos de Norteamérica y dando cuenta de la manera en la que esta plataforma de red social ha impactado profundamente en la forma en la que los migrantes se comunican con sus comunidades de origen, la manera en la que esta red social se ha convertido en una alternativa de punto de encuentro y la forma en la que han cambiado también los medios de ayuda hacia las comunidades de origen. Se presentan solamente tres de los procesos más significativos que tienen lugar en torno a la migración internacional México-Estados Unidos como medios para ilustrar el impacto que las tecnologías digitales han tenido en el fenómeno migratorio, pero de ninguna manera se pretende exponer que el cambio se ha dado solamente en estos tres procesos; la lista de los impactos y cambios en el fenómeno requeriría de un documento mucho más amplio ya que se trata de un abanico bastante amplio.

Las redes sociales y la migración han establecido una relación que llegó para quedarse y que ha resultado potenciadora de las acciones que los migrantes emprenden, lo que indudablemente ha tenido efectos positivos tanto en la

calidad de vida de los migrantes en el destino, como en la de aquellos que se quedaron en el origen, exhibiendo con ello una nueva faceta de la migración mexicana a los Estados Unidos.

Referencias

- Campos Cortés, G. El origen de la plaza pública en México: usos y funciones sociales Argumentos, vol. 24, núm. 66, mayo-agosto, 2011, pp. 83-118 Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco Distrito Federal, México. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/595/59520783005.pdf>
- DataReportal (2025) Perspectives: Social media platform use. *Data Reportal*, recuperado de <https://datareportal.com/reports/digital-2024-october-global-statshot>
- Flores-Márquez, D. (2019). En mi corazón caben dos países: activismo digital transnacional y subjetividad política en migrantes mexicanos. Recuperado de <https://www.comunicacionysociedad.cucsh.udg.mx/index.php/comsoc/article/view/7260/6132> Doi: <https://doi.org/10.32870/cys.v2019i0.7260>
- González Obregón, L. (1927). Las calles de México. Vida y costumbre de otros tiempos. Ediciones León Sánchez. México D.F. <https://journals.openedition.org/alhim/610>
- Leal, A. (2001). La identidad mixteca en la migración al norte: el caso del Frente Indígena Oaxaqueño Binacional
- Oroza Busutil, R. y Puente Márquez, y. (2017). Migración y comunicación: su relación en el actual mundo globalizado. En *Novedades en Población*, No.25, enero-junio de 2017. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-40782017000100002
- Psicosocial de la habitabilidad, en *Revista Legado de Arquitectura y Diseño*, vol. 18, núm. 33, 2023. Universidad Autónoma del Estado de México. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=477974305011>
- Ramo-Díaz, R., Salazar-Martínez, B. L., & Vázquez-Honorato, L. A. (2023). La identidad del mercado tradicional desde la correlación físico-espacial y psicosocial de la habitabilidad. *Legado de Arquitectura y Diseño*, 18(33), 97-106.

Colección Saberes de las Ciencias

EL CORTE DE LA NAVAJA DE OCKHAM
Preguntas y respuestas para acercarse a la ciencia

se terminó de editar en septiembre de 2025
en los talleres gráficos de Ediciones de la Noche.

Madero #687, Zona Centro 44100,
Guadalajara, Jalisco, México.

Con un tiraje de 1 libro digital

www.edicionesdelanoche.com



En esta obra se encuentra plasmada parte de la vida de cada uno de los autores y coautores de diferentes Universidades Públicas de México y de otras partes del Mundo. Se trata de un primer esfuerzo de comunicar de manera muy sencilla, amena y amigable, temas de diferentes áreas del conocimiento, pues está dirigido a público no especializado en los temas que hemos elegido cada uno de nosotros, para intentar contar una historia de lo que sabemos. Esta obra pretende ser así; como su título que hace referencia a la Navaja de Guillermo de Ockham, cuya premisa fundamental es: «en igualdad de condiciones, la explicación más simple suele ser la más probable», y que no por ser sencilla claro, tiene que carecer de calidad.

Nos ha costado evitar ser muy estrictos con nosotros mismos y escribir textos amenos para atraer a la lectura a nuestros amigos, vecinos, familia y público en general. Esta obra es multidisciplinaria y presentamos textos desde el Veneno de Alacrán, la alarma de la violencia en el noviazgo, ¿Cómo hacer investigación sin recurrir a trampas?, las propiedades del maíz, la representación social que tenemos sobre un lonche o torta, el Súper *C. elegans*, la Neuropsicología del comportamiento suicida, la Conciencia oculta, ¿Cómo la Gamificación ha revolucionado a la Ciencia?, ¿En qué consiste la naturaleza jurídica de los derechos de la personalidad?, el uso inteligente de los medicamentos, qué pasa cuando nuestros vasos sanguíneos envejecen, la importancia de alimentar adecuadamente a nuestro cerebro, ¿podemos hablar de una nueva sofística?, ¿Debe legislarse en el tema de Reproducción Humana Asistida en México?, los mitos y realidades sobre la diabetes, cómo clasificamos a las enfermedades, ¿La flor de Jamaica: es el secreto mejor guardado para tu salud?, ¿Qué Son las Leyes de la Lógica?, El pulque en Jalisco, la Persistencia bacteriana y su impacto en la salud humana, ¿Cómo las plantas dieron origen a la Farmacología y a la Medicina?, ¿Cómo es que el Sol, estando tan lejos, es tan importante en nuestras vidas?, ¿Los medicamentos contaminan el medio ambiente?, Dengue y su gravedad como una segunda infección, Proteínas a la Carta, su bioquímica e inteligencia artificial, Edulcorantes, ¿han sido una solución a una pandemia?, temas importantísimos como: las infecciones de las vías urinarias, el uso de los vapeadores como moda y adicción. También agregamos finalmente un pequeño apartado que hemos llamado Probaditas de divulgación científica: ¿Qué tan inteligente es el Chat GPT? Y ¿Podemos hablar de una nueva faceta de la migración mexicana a los Estados Unidos gracias a Facebook?

Entre otros temas lindos y de mucha importancia darlos a conocer.

Los Coordinadores



CUALTOS
Centro Universitario de los Altos



Colección Saberes de la Ciencia