

elementos

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA • No. 130 • Volumen 30 • abril - junio 2023 • \$40.00

CONACYT
Incluida en el Índice de Revistas
Mexicanas de Divulgación Científica
y Tecnológica del CONACYT



00130

EXHIBIR HASTA EL 30-JUNIO-2023

El olfato y su trascendencia evolutiva en los vertebrados | La zoología y la perfumería: una relación con mucha historia "natural" | El gusto por lo dulce, ¿es universal en el reino animal? | Cómo amortiguar el declive cognitivo del envejecimiento | Cuerpo cyborg y subjetividades... | Odontofobia: razones por las que se evita ir al dentista | La naturaleza del óxido nítrico y sus acciones | El síndrome del corazón roto | Semioquímicos, ¿compuestos clave para monitorear y controlar a las chinches chagásicas? | Cuaderno de Elementos No. 13. Estridentismo | Medicina personalizada y ciencia de datos... | Modificando la superficie del titanio para reducir su desgaste | El infinito, las matemáticas y Borges | Develando el misterio de la formación de las estrellas dobles cercanas | Cine de ciencia ficción... | De cómo es que los estados cuánticos gaussianos bipartitas codifican dos bits cuánticos | Levaduras probióticas y proteína de papa... | Neurofilosofía del yo... | Obra gráfica: Javier Anzures Torres

© Javier Anzures Torres. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 120 x 140 cm, 1984.



S U M A R I O



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
rectora, Ma. Lilia Cedillo Ramírez
secretario general, José Manuel Alonso Orozco
vicepresidente de investigación y estudios
de posgrado, Ygnacio Martínez Laguna

ELEMENTOS

www.elementos.buap.mx

revista trimestral de ciencia y cultura
número 130, volumen 30, abril-junio de 2023

director, Enrique Soto Eguibar

subdirector, José Emilio Salceda

diseño y producción gráfica, Mirna Guevara

corrección de estilo, Emilio Salceda y Leopoldo Noyola

sitio web y laboratorio multimedia, Leopoldo Noyola

redes sociales, Mirna Guevara

administración y logística, Lorena Rivera e Ileana Gómez

redacción, 14 Sur 6301, Ciudad Universitaria

Apartado Postal 406, Puebla, Pue., C.P. 72570

email: esoto24@gmail.com

consejo editorial, Itziar Aretxaga (INAOE), Beatriz Eugenia Baca (ICUAP, BUAP), María Emilia Beyer Ruiz (DGDC, UNAM), María de la Paz Elizalde, (ICUAP, BUAP), Ana Lidya Flores Marín (IBERO Puebla), Marcelo Gauchat (FUNDACIÓN FORMA, A. C.), Sergio Segundo González Muñoz (COLPOS Montecillo), Federico Méndez Lavielle (Facultad de Ingeniería, UNAM), Jesús Mendoza Álvarez (CONACYT), Ricardo Moreno Botello (Ediciones de Educación y Cultura), Francisco Pellicer Graham (Instituto Nacional de Psiquiatría), Adriana Pliego Carrillo (Facultad de Medicina, UAEM), Leticia Quintero Cortés (ICUAP, BUAP), José Emilio Salceda (Instituto de Fisiología, BUAP), Gerardo Torres del Castillo (Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, BUAP), Catalina Valdés Baizabal (Laboratorio de Neurobiología Celular, Universidad de La Laguna), Enrique Vergara (ICUAP, BUAP)

obra gráfica, © Javier Anzures Torres

1° de forros, © Serie "Teléfonos", tinta/papel, 52 x 65 cm, 1979

CINTILLO LEGAL

ELEMENTOS, Año 38, No. 130, abril a junio de 2023, es una publicación trimestral editada por la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, con domicilio en 4 Sur número 104, Col. Centro, C. P. 72000, Puebla, Pue., y distribuida a través de Revista Elementos, con domicilio en Av. 14 Sur No. 6301, Col. San Manuel, Puebla, Pue. C. P. 72570. Tel. 222 229 55 00 ext. 7316. Editor responsable Dr. Enrique Soto Eguibar, esoto24@gmail.com. Reserva de derechos al uso exclusivo 04-2018-101113435900-102. ISSN 0187-9073, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor de la Secretaría de Cultura. Número de Certificado de Licitud de Título y Contenido (en trámite) en la Comisión Calificadora de Publicaciones y Revistas Ilustradas de la Secretaría de Gobernación. Este número se terminó de imprimir en marzo de 2023. Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.



ÍNDICE DE REVISTAS MEXICANAS
DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



El olfato y su trascendencia evolutiva en los vertebrados 3
Héctor R. **Elíosa León**, Adriana Berenice **Silva Gómez**

La zoología y la perfumería:
una relación con mucha historia "natural" II
Jaime M. **Calderón Patrón**

El gusto por lo dulce, ¿es universal en el reino animal? 17
Angélica **Almanza**, Francisco **Mercado**

Cómo amortiguar el declive cognitivo del envejecimiento 23
Juan **Silva-Pereyra**, Martina **Ferrari-Díaz**

Cuerpo *cyborg* y subjetividades.
Una respuesta al transhumanismo 27
Gilberto **Castrejón**

Javier Anzures Torres 35
Obra gráfica

Odontofobia: razones por las que se evita ir al dentista 39
Marine **Ortiz Magdaleno**

La naturaleza del óxido nítrico y sus acciones 43
María del Carmen **González Castillo**, Guillermo **Salazar Martínez**, Aída J. **Velarde Salcedo**

El síndrome del corazón roto 51
Teresa B. **Mares Barbosa**, Diana P. **Portales Pérez**, Ana M. **Estrada Sánchez**

Semioquímicos, ¿compuestos clave para monitorear
y controlar a las chinches chagásicas? 57
David **Alavez-Rosas**, Alejandro **Córdoba-Aguilar**, Leopoldo **Cruz-López**

Cuaderno de *Elementos* No. 13. Estridentismo 63
Coordinador: Julio **Glockner**

Publicación digital

Medicina personalizada y ciencia de datos 65
El uso de analíticas de datos para la selección de tratamientos
Gustavo **Mendoza**, Josefa **Somodevilla**, Concepción **Pérez de Celis**

Modificando la superficie del titanio para reducir
su desgaste 71
Samuel **Hernández Montiel**, Rebeca C. **Rodríguez Jiménez**, Leandro **García González**

El infinito, las matemáticas y Borges 75
Manuel **González Sarabia**, Manuel **González Vargas**

Develando el misterio de la formación
de las estrellas dobles cercanas 81
Leonardo **Di G. Sigalotti**, Fidel **Cruz**

Cine de ciencia ficción 87
Visiones de futuro y lecciones para el presente
Gustavo **Corral Guillé**

De cómo es que los estados cuánticos
gaussianos bipartitas codifican dos bits cuánticos 93
Giselle N. **Morales Rosales**, Fabiola **García Gutiérrez**, Manuel **Ávila Aoki**

Levaduras probióticas y proteína de papa,
una opción para la nutrición animal 97
Samantha E. **Bautista Marín**, Konisgmar **Escobar García**

Neurofilosofía del yo 101
Autoconciencia e identidad personal
Francisco **Pellicer**

© **Javier Anzués Torres**. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 120 x 140 cm, 1984.



El olfato y su trascendencia evolutiva en los vertebrados

Héctor R. **Elíosa León**
Adriana Berenice **Silva Gómez**

En los animales, los órganos de los sentidos (vista, olfato, gusto, tacto y oído) son relevantes porque les permiten obtener información de su entorno, desde cualidades físicas y químicas propias del medio ambiente, hasta las generadas por otros seres vivos que coexisten con ellos. La importancia que cada sentido tiene en la sobrevivencia de los animales varía de un grupo a otro, lo cual está relacionado estrechamente con sus hábitos de vida. Por otra parte, la acumulación de conocimientos generados por diversas disciplinas biológicas indica que los órganos de los sentidos no surgieron simultáneamente en los vertebrados; es decir, unos aparecieron primero y otros después en la historia evolutiva de este grupo. No obstante, el sistema nervioso mantiene el control del funcionamiento de todos los órganos de los sentidos, sin importar las diferencias en la complejidad estructural que puedan existir en cada grupo animal. En el caso del olfato, se trata muy probablemente del más antiguo de los sentidos y su función ha resultado muy útil en el mantenimiento de cada linaje (Hoover, 2010).

Este sentido brinda información a los organismos a partir de la detección de sustancias químicas denominadas moléculas odoríferas, que pueden producirse desde una fuente distante de los organismos que las perciben. Las moléculas odoríferas terrestres son muy volátiles,

vaporizan fácilmente y están representadas por una gran variedad de partículas que incluyen aceites, alcoholes, aminoácidos, ésteres y ácidos; mientras que, en un ambiente acuático, esas moléculas son solubles en agua. Es sorprendente que, a pesar de la gran diversidad de moléculas odoríferas, todas ellas son similares en tamaño, forma, peso y organización geométrica; y todas ellas, al unirse a los receptores olfativos, inician los procesos de neurotransmisión de la información detectada. Como resultado de la percepción de los olores, los animales pueden reconocer presas, detectar depredadores, buscar alimentos, buscar pareja y reconocer rutas de migración. Además, el olfato puede invitar a un organismo, o persuadirlo de acercarse a la fuente de olor; por ejemplo, el olor desagradable de la putrefacción de cadáver aleja a muchos animales que no se alimentan de carroña.

EL OLFATO EN LOS VERTEBRADOS

El sistema olfatorio en los vertebrados está formado, de manera general, por el epitelio olfatorio, el bulbo olfatorio principal y el bulbo olfatorio accesorio que envían la información odorífera detectada en el ambiente hacia la corteza cerebral para que el organismo responda de manera eficiente al estímulo ambiental.

El epitelio olfatorio se encuentra en la cavidad nasal (Papes, 2018), consta de neuronas bipolares que establecen contacto, por un lado, con el medio en el cual se encuentran las moléculas odoríferas, y por el otro, con el sistema nervioso central a través del bulbo olfatorio principal. Las dendritas de las neuronas olfatorias están cubiertas por cilios o microvellosidades de las cuales se presume que son el sitio en donde se lleva a cabo la transducción olfatoria, es decir, el lugar donde el mensaje químico es convertido en impulsos eléctricos debido al hecho de que las moléculas odoríferas establecen el complejo ligando-receptor con los receptores de membrana acoplados a proteínas G

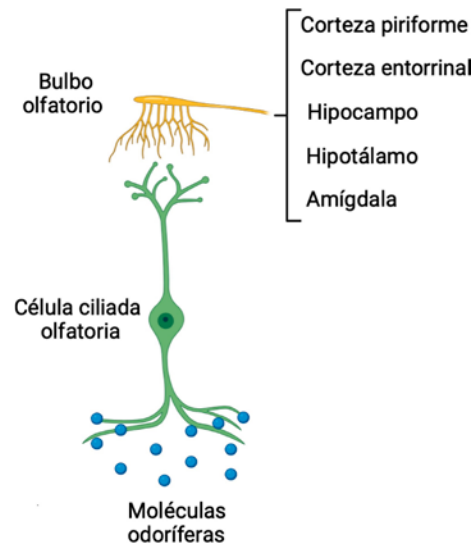


Figura 1. Las moléculas odoríferas entran en contacto con los receptores de membrana de las células olfatorias para que se realice el proceso de transducción sensitiva y, con ello, se envíe la información del estímulo ambiental al bulbo olfatorio y a los diversos núcleos y cortezas que forman parte de la vía olfativa.

que, a su vez, activan las vías de señalización intracelular (Eisthen, 2002).

Una vez establecido el complejo ligando-receptor, se inicia la transmisión de los impulsos nerviosos desde la neurona olfatoria hacia el bulbo olfatorio principal (ver Figura 1; Hoover, 2010), que es una estructura que contiene miles de módulos de conectividad neuronal denominados glomérulos. Estas estructuras son neuropilos esféricos grandes dentro de los cuales los axones de las neuronas olfatorias establecen contactos sinápticos excitatorios sobre las dendritas de las células mitrales y las células en penacho (Mori *et al.*, 1999) para enviar la información a la corteza piriforme. Adicionalmente, la información es procesada en la amígdala, en el hipocampo y en la corteza entorrinal (Purves *et al.*, 2007), lo que promueve que un organismo reaccione ante un olor con una emoción, y la posibilidad de generar memoria del estímulo olfativo. Así, los mamíferos pueden reaccionar ante un olor antes de pensar en su efecto (Hoover, 2010).

Las feromonas, definidas rigurosamente como señales químicas intraespecíficas que comunican información mutuamente benéfica sobre el estado de un individuo para provocar una reacción en otro, son detectadas por el órgano vomeronasal

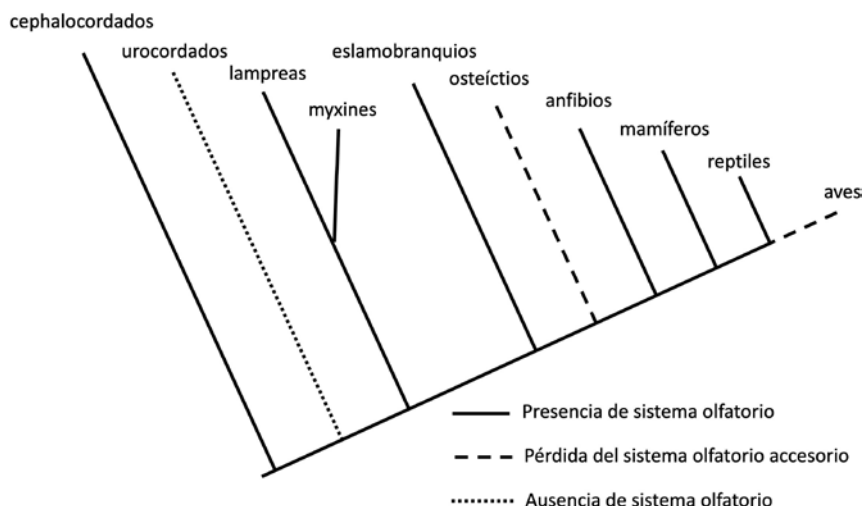


Figura 2. Filogenia general de los cordados. Entre los cordados existen grupos en los cuales es clara la expresión de un sistema olfatorio (—), y grupos de organismos en los que únicamente se expresa el sistema olfatorio principal, lo que sugiere pérdida del sistema olfatorio accesorio (----). No obstante, también hay un grupo en el que no hay evidencia sobre la expresión de un sistema olfatorio (.....).

que envía la información a través de sus axones a las células mitrales del bulbo olfatorio accesorio y, finalmente, a las cortezas y núcleos involucrados en este sistema sensitivo (Hovis *et al.*, 2012). Existen varios tipos de feromonas: las primarias, las informativas, las moduladoras y las liberadoras. Las feromonas primarias están asociadas con la fisiología endocrina y reproductiva, mientras que las feromonas informativas solo tienen como objetivo comunicar información sobre el estado que guarda el individuo. Las feromonas moduladoras son usadas para provocar cambios en el estado de ánimo y emociones de otro individuo. Finalmente, las feromonas liberadoras son señales que se generan para producir una respuesta conductual inmediata asociada con la atracción sexual (Hoover, 2010).

UNA POSIBLE RUTA EVOLUTIVA DEL SISTEMA OLFATORIO EN VERTEBRADOS

Además de los vertebrados, el olfato también está presente en algunos animales invertebrados como los nematodos, moluscos, crustáceos e insectos; llama la atención de los biólogos la similitud básica en la organización de los sistemas olfativos de todos estos animales. ¿Cuál es la causa subyacente de esta similitud? Desde el punto de vista evolutivo, al considerar la relación filogenética de

los grupos referidos arriba con los vertebrados, la similitud no se debe a una herencia compartida a partir de ancestros remotos sino a una convergencia evolutiva, es decir, que cada grupo animal adquirió de manera independiente la organización del olfato como respuesta a condiciones ambientales similares (Eisthen, 2002). En el caso de los vertebrados, se observa una mayor complejidad tanto estructural como funcional, además de que los genes que codifican para los receptores de los olores muestran una evolución dinámica, por lo que resulta interesante entender cómo se fue diferenciando este sentido en las distintas clases del grupo, especialmente si se considera que, durante el transcurso de la evolución de los vertebrados, diferentes estructuras del sistema nervioso relacionadas con el olfato han incrementado su tamaño de manera diferencial; por ejemplo, el olfato juega el papel principal en el desarrollo del sistema nervioso de los mamíferos (Taniguchi y Taniguchi, 2014), pero no en otras clases.

Para tener un panorama completo del desarrollo del olfato en los vertebrados, es necesario considerar la información que nos brinda la filogenia y un estudio comparativo de las características morfológicas y funcionales del olfato de los grupos del filo

de los cordados. Estos animales reciben su nombre debido a que, entre otras características, en la etapa temprana de su ciclo de vida presentan una estructura de sostén corporal denominada notocorda, la cual en los vertebrados es sustituida en etapas posteriores de su desarrollo por la columna vertebral. En los cordados también se incluye a los urocordados y a los cefalocordados, animales marinos que presentan notocorda, pero no desarrollan columna vertebral y, por lo tanto, son parientes cercanos de los vertebrados.

En la actualidad aún existe controversia sobre el grupo que resulta hermano de los vertebrados, es decir, sobre cuál está más estrechamente relacionado con ellos desde el punto de vista evolutivo; sin embargo, recientemente se acepta que los urocordados son los animales más cercanos a los vertebrados, por lo que los cefalocordados son considerados los cordados ancestrales (Sato *et al.*, 2014). Para facilitar el entendimiento de la evolución de los cordados se muestra su filogenia simplificada en la Figura 2. Los cefalocordados son animales marinos de forma pisciforme, conocidos comúnmente como anfioxos, carecen de algún aparato olfatorio distintivo, pero a partir de la secuencia del genoma de estos animales se ha detectado la expresión de más de 30 genes de receptores olfativos (OR, por sus siglas en inglés) en neuronas bipolares del epitelio rostral de los anfioxos adultos, lo que significa que son capaces de realizar una función olfatoria detectando partículas odoríferas solubles en agua; de acuerdo con esto, se puede considerar que estos genes y sus asociados son evolutivamente los más ancestrales de los cordados. Por otra parte, los urocordados, al igual que los anfioxos, son animales marinos, pero han desarrollado una mayor diversidad: los hay bentónicos sésiles en su fase adulta, como las ascidias (o patatas de mar), y pelágicas como los taliáceos y larváceos. En los tres tipos de urocordados el sistema nervioso es muy reducido y los receptores sensoriales están pobremente desarrollados y hasta el momento no se han registrado



© Javier Anzures Torres. *Una mañana tranquila*, óleo/tela, 145 x 160 cm, 1984.

genes relacionados con la función olfativa en estos animales, por lo que filogenéticamente se trataría de una reversión evolutiva, es decir, de la pérdida en estos animales de la característica olfativa

© Javier Anzures Torres. *Imágenes de mi conciencia*, óleo/tela, 190 x 200 cm, 1985.



ya presente en el ancestro del grupo. Si estudios futuros en los urocordados demuestran la existencia de genes ligados al olfato, se debe descartar la afirmación anterior. Los vertebrados se originaron en el periodo Ordovícico inferior (470 millones de años), y sus parientes más próximos (urocordados y cefalocordados) están presentes en sedimentos ligeramente más antiguos, es decir, del periodo Cámbrico (Janvier, 2015).

Los fósiles de algunos de los primeros vertebrados, conocidos como ostracodermos (peces sin mandíbula), indican que tuvieron una diversificación temprana en la que unos grupos presentaban un solo orificio nasal, como sus descendientes contemporáneos (lampreas y myxines) y otros grupos presentaban dos orificios nasales; por el momento, se desconoce la condición inicial respecto al número de orificios nasales. Sin embargo, considerando que las lampreas y los myxines representan actualmente las condiciones más cercanas a los primeros vertebrados, se puede señalar que esos primeros organismos presentaban un órgano olfatorio periférico consistente en el epitelio sensorial olfativo del único orificio nasal, el cual proyecta al bulbo olfatorio principal (MOB, por sus siglas en inglés), y un órgano accesorio que envía información al MOB separadamente del epitelio olfativo. Esto sugiere que, desde los primeros vertebrados, se inició la diferenciación del olfato en dos sistemas complementarios. En los condictios (tiburones, rayas y quimeras), la evidencia reciente indica que poseen también un sistema olfativo dual, esto es, uno bien desarrollado consistente en un epitelio olfatorio formado por numerosas lamelas primarias y neuronas receptoras localizadas en las narinas (cavidades no comunicadas con la boca), las cuales proyectan al MOB que las controla; y otro incipiente, relacionado con el bulbo olfatorio accesorio (AOB por sus siglas en inglés), por lo que su capacidad olfativa es diversa y eficiente. Además, presentan dos orificios nasales.

En los osteíctios (peces óseos), el grupo más diverso de los vertebrados, también se presentan dos orificios nasales y se conserva únicamente el sistema olfativo principal en la mayoría de sus

integrantes, por lo que habría ocurrido una reversión evolutiva del sistema olfativo accesorio. A pesar de esta condición, es decir, de la permanencia del sistema olfatorio principal, existe gran variación en la capacidad olfativa de los peces ya que algunos, como las anguilas depredadoras, detectan olores muy diluidos en contraste con la pobre agudeza olfativa de los lucios, lo que significa que los genes de los receptores olfativos tienen una amplia variación, ya que se han reconocido ocho de los nueve linajes de genes olfativos.

Sin embargo, en los peces relacionados con el grupo ancestral de los anfibios, denominados sarcopterigios, se mantuvieron los dos sistemas olfativos, aunque el accesorio seguía teniendo poca importancia. La filogenia de los vertebrados indica que durante la evolución se produjo una subdivisión anatómica y funcional temprana de los sistemas químicos nasales, sobre todo de los sistemas olfatorios y vomeronasales, que incluyen diferentes receptores y áreas de proyección primaria y secundaria. Los diferentes sistemas químicos han sufrido involución diferencial en ciertos taxones debido a presiones evolutivas (Ubeda-Bañón *et al.*, 2011).

Desde el origen de los cordados en el Cámbrico, hasta el origen de los anfibios en el periodo Devónico, transcurrieron aproximadamente 150 millones de años en los que la totalidad de los vertebrados habitaba ambientes acuáticos, lo que significa que el olfato detectaba únicamente las partículas disueltas en agua. Es en los anfibios (ranas, sapos, salamandras), primeros vertebrados terrestres originados en el Devónico medio en quienes se reconoce bien desarrollado el sistema olfativo accesorio, además del principal, pudo ser una adaptación diferencial a los nuevos desafíos de la variación ambiental, quizá debido a que las partículas odoríferas viajan más rápido en el aire que en el agua. El sistema olfatorio accesorio de los tetrápodos, conocido como órgano vomeronasal u órgano de Jacobson, evolutivamente se desarrolla a partir de la diferenciación del epitelio olfatorio primitivo de los peces. En los anfibios se localiza en la base del septo nasal, donde

se alojan las neuronas sensoriales vomeronasales, las cuales envían información al AOB. La función de este sistema está relacionada con la captura de información proveniente de las feromonas. En estos animales, el sistema olfatorio principal es responsable de la captación de las moléculas odoríferas (no feromonas). De esta manera, a los anfibios, los dos sistemas olfatorios les brindan la oportunidad de tener un mejor reconocimiento de lo que ocurre en su entorno, ya sea acuático o terrestre. En la rana *Xenopus tropicalis* se han registrado 824 genes funcionales OR, cantidad significativamente mayor a la registrada en los peces debido a que retiene genes que pueden reconocer olores tanto dentro como fuera del agua.

En los reptiles, el sistema olfatorio principal se conserva con cambios mínimos, pero el sistema olfatorio accesorio presenta modificaciones o desaparece en algunos grupos. Los mayores cambios ocurren en los escamados (serpientes y lagartijas). El órgano de Jacobson en las serpientes alcanza el mayor desarrollo entre los vertebrados, está aislado de la cavidad nasal y abre en la cavidad oral mediante un conducto anterior al que llegan las partículas transportadas por la lengua, las cuales alcanzan el epitelio vomeronasal, iniciando así la ruta informativa que se proyecta al AOB. En tortugas, el órgano vomeronasal está pobremente desarrollado, y en los cocodrilos no se presenta.

En las aves, el sistema olfatorio consiste en el sistema olfatorio principal únicamente, porque el sistema olfatorio accesorio no existe; sin embargo, se ha observado que tienen de 100 a 700 genes OR, con lo que suple dicha carencia. Hasta aquí se puede señalar que, considerando la estrecha relación de parentesco existente entre cocodrilos y aves, en el ancestro común de ambos grupos ocurrió una reversión evolutiva respecto al órgano vomeronasal, y que los descendientes heredaron esa condición.

Los mamíferos conservan los dos sistemas olfatorios en la mayoría de sus integrantes, pero cetáceos (ballenas y delfines), manatí y algunos primates carecen del sistema olfatorio accesorio.

En la mayoría de los mamíferos se da una repartición de funciones olfativas similar a la que ocurre en otros tetrápodos, ya que el sistema olfatorio principal capta partículas odoríferas y el órgano vomeronasal detecta las feromonas, lo cual se hace evidente por la presencia de un mayor número de genes OR que puede llegar hasta 1,207, como ocurre en algunos roedores, por lo que el olfato se considera un sentido muy desarrollado y eficiente en estos animales.

Existe controversia entre los especialistas respecto al origen y función del sistema olfatorio accesorio; sin embargo, ahora se piensa que un sistema olfatorio dual apareció en los primeros vertebrados, debido a que recientemente se ha descubierto en las lampreas la presencia de epitelio olfatorio principal y epitelio vomeronasal (Chang *et al.*, 2013). Además, resulta extraordinaria la semejanza en la ruta vomeronasal de los tetrápodos con la ruta del olfato accesorio de las lampreas. También se ha descubierto que el órgano olfativo accesorio tiene conexiones con el sistema olfativo principal, el bulbo olfatorio, el neuropilo telencefálico dorso-medial (DTN, por sus siglas en inglés) y la palia e, indirectamente, con el hipotálamo rostral.

Por lo tanto, el epitelio olfatorio accesorio (AOE, por sus siglas en inglés) de la lamprea expresa todas las familias conocidas de genes quimiorreceptores de lamprea. Desde su descubrimiento por Scott, en 1887, se ha sugerido que el AOE de *Petromyzon* funciona como órgano de Jacobson. Sin embargo, a nivel del circuito neuronal, así como en el nivel molecular, parece que el sistema dual de la lamprea no está tan segregado como el sistema olfatorio dual de los tetrápodos. Con respecto a la funcionalidad del AOB en los vertebrados, se puede sugerir que el órgano vomeronasal no se originó para capturar las partículas presentes en el aire, sino para ampliar la gama de odorantes percibidos por los tetrápodos. Asimismo, el sistema olfativo secundario tiene importancia diferencial y funciones diferentes en los vertebrados, ya que parece que las conductas de forrajeo y reproducción de los reptiles están en relación con el sistema vomeronasal, en tanto que en los mamíferos está involucrado en la recepción de feromonas.



© Javier Anzures Torres. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 1985.

CONCLUSIÓN

El sistema olfatorio brinda información relevante a los vertebrados a partir de los olores, pero no tiene la misma importancia en todos ellos, ni siquiera

© Javier Anzures Torres. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 1984.



dentro del mismo grupo, lo cual está relacionado con la complejidad estructural y funcional del sistema olfatorio y con la forma de vida de cada clase de vertebrado. En los peces prevalece el MOB como centro controlador del olfato, en tanto que, en los tetrápodos, de manera general, el MOB y el AOB funcionan simultáneamente.

Finalmente, no se debe olvidar que la función olfativa es mediada por el sistema nervioso y, como consecuencia, la información obtenida de esta manera por los organismos va más allá de los bulbos olfatorios; así, a través de los olores, los vertebrados pueden generar una "memoria del olor" que les permite responder adecuadamente a las presiones selectivas; por ejemplo, entre los peces, el salmón debe regresar a los ríos donde fue engendrado para a su vez reproducirse y perpetuar su linaje, actividad que no podría realizar si no fuera por la "memoria del olor", es decir, la capacidad que tienen estos peces para percibir los olores que registraron en las primeras etapas de su desarrollo.

REFERENCIAS

- Chang S, Chung-Davidson YW, Libants SV, Nanlohy KB, Kiupel M, Brown CT and Li W (2013). The sea lamprey has a primordial accessory olfactory system. *BMC Evolutionary Biology* 13:172.
- Eisthen HL (2002). Why are olfactory systems of different animals so similar? *Brain, Behavior and Evolution* 29: 273-293.
- Hoover KC (2010). Smell with inspiration: The evolutionary significance of olfaction. *American Journal of Physical Anthropology* 143 (Suppl 51): 63-74. doi:10.1002/ajpa.21441.
- Hovis KR, Ramnath R, Dahlen JE, Romanova AL, LaRocca G, Bier ME and Urban NN (2012). Activity regulates functional connectivity from the vomeronasal organ to the accessory olfactory bulb. *The Journal of Neuroscience* 32(23): 7907-7916.
- Janvier P (2015). Facts and fancies about early fossil chordates and vertebrates. *Nature* 520:483-489
- Mori K, Nagao H and Yoshihara Y (1999). The olfactory bulb: coding and processing of odor molecule information. *Science* 286: 711-715.
- Papes F, Nakahara TS and Camargo AP (2018). Behavioral Assays in the Study of Olfaction: A Practical Guide. *Methods in Molecular Biology* 1820:289-388. doi:10.1007/978-1-4939-8609-5_21.
- Purves D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, Lamantia AS, McNamara JO and Williams SM (2007). Sentidos químicos. En Purves



© **Javier Anzués Torres**. *Bajo la sombra del tiempo*, óleo/tela, 140 x 150 cm, 1996.

D, Augustine GJ, Fitzpatrick D, Hall WC, Lamantia AS, Mcnamara JO y Williams SM (Eds.), *Neurociencia* (pp 370-389). Editorial Médica Panamericana. España.

Satoh N, Rokhsar D and Nishikawa T (2014). Chordate evolution and the three-phylum system. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Science* 281:1-10.

Taniguchi K, and Taniguchi K (2014). Phylogenetic Studies on the Olfactory System in Vertebrates. *The Journal of Veterinary Medical Science* 76(6): 781-788.

Ubeda-Bañón I, Pro-Sistiaga P, Mohedano-Moriano A, Saiz-Sanchez D, de la Rosa-Prieto C, Gutierrez-Castellanos N, Lanuza E, Martinez-Garcia F and Martinez-Marcos A (2011). Cladistic analysis of the olfactory and vomeronasal systems. *Frontiers in Neuroanatomy* 5:3 doi: 10.3389/fnana.2011.00003.

Héctor R. Eliosa León
Adriana Berenice Silva Gómez
Facultad de Ciencias Biológicas, BUAP
hector.eliosa@correo.buap.mx

La zoología y la perfumería: una relación con mucha historia “natural”

Jaime M. **Calderón Patrón**

Las feromonas son sustancias aromáticas que son producidas por algunos organismos y que funcionan como mensajes químicos concretos que desencadenan comportamientos específicos y constituyen probablemente la forma más antigua de comunicación animal (Viscarra *et al.*, 2011). Los carnívoros, entre otros organismos, marcan sus territorios mediante feromonas que producen en glándulas especializadas, lo que deja un “olor” que puede al ser detectado desde largas distancias y señala fenómenos como los de territorialidad y reproducción (Viscarra *et al.*, 2011). Desde la Antigüedad, algunas de estas sustancias han sido utilizadas por la humanidad para la elaboración de perfumes, que son sustancias generalmente líquidas que se utiliza para dar buen olor. La palabra proviene del latín *per* (por) y *fumare* (a través del humo), ya desde la Edad de Piedra, el ser humano ha usado incienso, mirra y otras resinas de maderas aromáticas. El primer perfume usado fue el incienso en Mesopotamia, hace 4,000 años (Roldan-García *et al.*, 2004).

Actualmente, los perfumes son mezclas hechas con base en alcohol etílico, aceites y esencias aromáticas de origen vegetal, animal o sintético, y de productos químicos que estabilizan la mezcla o le dan más fuerza (Roldan-García *et al.*, 2004). Al aplicar el perfume sobre la piel, el calor

del cuerpo evapora el alcohol, quedando las sustancias aromáticas, las cuales se disipan gradualmente; para evitar que esto suceda, se agregan fijadores, los cuales aumentan la duración del aroma. Los fijadores pueden ser de origen natural o sintético y algunos de los mejores, como el almizcle y el ámbar gris, son derivados de animales (Roldan-García *et al.*, 2004). Desafortunadamente, la extracción de estas sustancias significaba, en la mayoría de los casos, sacrificar a los organismos de los que se obtenían, por lo que actualmente, para evitar esto, se crían en cautiverio y también se han creado sustancias sintéticas que sustituyen a las de origen natural y tienen la ventaja de ser mucho más económicas, por lo que los productos animales son cada vez menos utilizados.

ALMIZCLE

El almizcle es una sustancia grasa de olor fuerte e intenso, casi insoportable para el olfato humano, con sabor amargo y color entre rojo y marrón. Actualmente es una de las materias primas más importantes en perfumería, ya que proporciona fuerza y permanencia a las esencias vegetales; sólo se aplica en mínimas cantidades y en combinación con otras sustancias. El aroma puede permanecer por días en una habitación, y la sustancia en estado puro llega a conservar sus propiedades por años. Debido a que contiene feromonas, el almizcle es considerado como afrodisíaco y sigue siendo uno de los productos naturales más caros del mundo. A finales de la década de 1970, el valor de mercado del kilogramo de almizcle alcanzó los 45,000 dólares en Estados Unidos, dos o tres veces su peso en oro (Meng *et al.*, 2011).

CIERVO ALMIZCLERO (*MOSCHUS MOSCHIFERUS*)

El almizcle se obtiene principalmente del ciervo almizclero siberiano *Moschus moschiferus* que habita en las montañas de Rusia, Kazajistán, Kirguistán, China, Corea y Mongolia. Es un mamífero que pertenece al orden Artiodactyla y a la familia Moschidae. También se reconocen otras tres especies: el ciervo

almizclero del bosque *M. berezovskii*, que habita en China y Vietnam; el ciervo almizclero del Himalaya, *M. chrysogaster*, de Afganistán, China, India, Nepal y Pakistán; y el ciervo almizclero negro *M. fuscus*, que se encuentra en Bután, China, India, Myanmar y Nepal (Meng *et al.*, 2011). Son organismos del tamaño de una cabra, miden de 50 a 60 cm de altura y pesan de 6 a 11 kilos, ninguno de los sexos tiene cuernos, pero los machos tienen dos largos dientes caninos superiores que pasan por encima del labio inferior (Meng *et al.*, 2011). Estos mamíferos poseen una bolsa glandular entre el abdomen y los genitales de los machos que contiene almizcle. Los machos producen almizcle a partir de los 12 a 18 meses, y la mayor cantidad es producida por animales de tres a ocho años de edad, principalmente en los meses de mayo a julio, con un promedio de 25 g de almizcle por animal, por año (Meng *et al.*, 2011). Para obtener el almizcle, anteriormente se mataba al animal y se extraía completamente la glándula, se dejaba secar, y se comercializaba entera o en grano. Esto, aunado a la drástica reducción de su hábitat, condujo a una reducción de las poblaciones del ciervo almizclero a mediados del siglo pasado. Se calcula que actualmente hay aproximadamente 5,000 ciervos almizcleros criados en granjas en China (Meng *et al.*, 2011). Afortunadamente, los ciervos almizcleros están ya protegidos por áreas naturales y por leyes nacionales e internacionales, ubicándose en los apéndices I y II de la Convención sobre el

© Javier Anzures Torres. Serie "Pictografías", acrílico/papel-tela, 100 x 110 cm, 1993.



Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres (CITES), y son considerados como especies vulnerables y amenazadas por la Unión Internacional para la conservación de la naturaleza (IUCN).

CIVETA AFRICANA (*CIVETTICTIS CIVETA*)

Otro animal que también produce almizcle es la civeta africana o gato de algalia (*Civettictis civeta*) y en menor porcentaje de la civeta indú (*Viverricula indica*). La algalia es un mamífero carnívoro perteneciente a la familia Viverridae, que habita en Etiopía, Guinea, Senegal y otros lugares de África ecuatorial. Madura sexualmente al primer año de vida y tiene su primera camada a los 14 meses con una a cuatro crías, puede tener dos o tres partos al año con un periodo de gestación de 60 a 81 días (Ray, 1995). En este mamífero, el almizcle se produce en las glándulas perineales del macho y la hembra, que se ubican entre el escroto y el prepucio en el macho y entre el ano y la vulva en la hembra. Las civetas han sido criadas en cautiverio en Etiopía desde hace varios siglos para la extracción del almizcle, y en una semana un individuo produce de tres a cuatro gramos de almizcle.

Se estima que hay más de 200 criadores de civetas en Etiopía con aproximadamente 4,000 individuos en cautiverio que generaron, de 1985 a 1997, un total entre 150,000 y 835,000 dólares anuales en África

(Swanepoel *et al.*, 2016). Las civetas cautivas mueren comúnmente de una enfermedad que se parece a la parvovirus de los perros, pero también por malas prácticas de crianza y maltrato (Ray, 1995). La demanda tan grande del almizcle en la perfumería ha provocado la creación y uso de fijadores sintéticos con precios mucho menores, lo que ha perjudicado la industria del almizcle en Etiopía, pero que puede beneficiar a las poblaciones de la algalia en vida libre.

ÁMBAR GRIS

Uno de los fijadores más importantes en la perfumería, con uno de los aromas más delicados y apreciados, es el ámbar gris, que se compone principalmente de un alcohol inodoro llamado ambreína, aceite graso y ácido benzoico (Osterloff, 2020). Se considera que los humanos lo han usado durante más de 1,000 años en ceremonias religiosas, como afrodisíaco o como ingrediente en pociones de medicina tradicional; actualmente es utilizada en la industria de la perfumería, ya que presenta un olor que varía desde terroso hasta almizclado y dulce. Su calidad depende de su color, con los mejores perfumes elaborados con variedades blancas; el ámbar gris de color negro es el menos valioso porque contiene menos ambreína (Osterloff, 2020). Su valor económico es considerable ya que una piedra de una libra de peso (0.454 g) llega a tener un precio en el mercado de 63,000 dólares (Rizzo, 2012).

El ámbar gris es producido por el cachalote *Physeter macrocephalus*, mamífero perteneciente al orden Cetacea y a la Familia Physeteridae que llega a medir entre 16 y 20 metros de largo y llega a pesar 57 toneladas. Debido a la persecución y cacería que han sufrido por su carne y aceite, está clasificado como vulnerable; se calcula que actualmente existen aproximadamente 360,000 ejemplares. Estos animales tienen el sistema intestinal más largo del mundo: más de 300 metros en los especímenes más grandes, con un estómago de cuatro cámaras como el de los rumiantes. La primera de ellas no secreta jugos gástricos y tiene paredes musculares

© Javier Anzués Torres. Serie "Pictografías",
acrílico/papel-tela, 100 x 120 cm, 1993.



muy gruesas para triturar la comida (ya que las ballenas no pueden masticar) y resistir los ataques de garras y picos de los calamares tragados. La segunda cámara es más grande y es donde tiene lugar la digestión. Los picos de calamar no digeridos se acumulan en la segunda cámara, donde los ácidos gástricos y nematodos endoparásitos los deshacen (Osterloff, 2020); en este estado la mayoría son vomitados, pero ocasionalmente algunos picos no bien digeridos llegan al intestino grueso, obstruyéndolo. Como respuesta a este problema el intestino secreta un recubrimiento graso rico en colesterol, que va cubriendo poco a poco los restos córneos atorados. Después de un tiempo, esta sustancia es expulsada por el recto como una masa informe que flota en el océano durante años, oxidándose y endureciéndose hasta que el oleaje lo deposita en tierra firme en forma de una piedra cerosa (Osterloff, 2020). Se trata, pues, de una sustancia muy rara, ya que solo uno de cada cien cachalotes la produce (Rizzo, 2012).

PERFUMES COMERCIALES COMO ATRAYENTES DE FAUNA SILVESTRE

En la actualidad, las feromonas son utilizadas por cazadores, manejadores de fauna silvestre y científicos como atrayentes para capturar animales en vida libre o en cautiverio, así como para conteos poblacionales (Viscarra *et al.*, 2011). Está documentado que, en el zoológico del Bronx, en Nueva York, en el año 2003, los manejadores de fauna probaron 23 aromas en un intento por conducir a guepardos hacia las cámaras trampa para poder monitorearlos. De todas estas fragancias, el perfume Beautiful, de Estée Lauder, atrajo a los animales durante dos segundos en promedio, mientras que Charlie, de Revlon, logró interesarlos por 15 segundos; L Air du Temps, de Nina Ricci, lo hizo por 10 minutos, pero la fragancia Obsession for Men, de Calvin Klein, logró atraer a los chitas durante más de 11 minutos (Plitt, 2010). Este experimento permitió que esta fragancia fuera utilizada años después en Maharashtra, en el oeste de la India, en donde una tigresa había matado a



© **Javier Anzures Torres**. Serie "Pictografías", acrílico/papel-tela, 100 x 100 cm, 1993.

nueve personas. Las autoridades utilizaron cámaras trampa y las carnadas con el perfume Obsession, con lo que pudieron capturarlo (Plitt, 2010).

En otro experimento realizado en 2006 en el zoológico Municipal Vesty Pakos en La Paz, Bolivia se probó el efecto de tres perfumes en el comportamiento de 14 jaguares, para lo cual se registró la frecuencia de tres patrones de comportamiento: 1) girar alrededor de la muestra como una reacción de alta intensidad, 2) frotarse, como una reacción de intensidad media, y 3) olfatear, como un efecto de intensidad de reacción baja (Vizcarra *et al.*, 2011). Los perfumes evaluados fueron: Obsession for Men, de Calvin Klein, Jovan Musk, de Margaret Astor, y Chanel Nº 5, de Chanel, siendo esta última la fragancia la que indujo reacciones de intensidad alta y media con mayor frecuencia (Vizcarra *et al.*, 2011). En otro estudio, realizado en las selvas de Guatemala, se evaluó si el olor incrementaba el número de fotografías disparadas en las cámaras trampa que tenían como atrayente el perfume Obsession, de Calvin Klein.

Los resultados demostraron que esta fragancia no aumenta el número de fotoregistros de jaguares; sin embargo, sí aumentó la calidad de las imágenes, ya que incrementó el tiempo de exposición de los organismos frente a la cámara (García-Anleu, 2012). En el Parque Nacional y Área Natural de Manejo Integrado Madidi, en Bolivia, al utilizar los perfumes



© Javier Anzués Torres. Serie "Pictografías",
acrílico/papel-tela, 100 x 100 cm, 1993.

Chanel Nº 5 y Obsession for Men para atraer felinos, se descubrió que también atraía a varias especies de tucanes, las especies fueron *Pteroglossus azara*, *Pteroglossus beauharnaesii*, *Ramphastos tucanus* y *Ramphastos vitellinus*. El perfume que registró más eventos fotográficos y comportamientos de interacción fue Chanel Nº 5 (62 %), seguido por Obsession (38 %, Viscarra *et al.*, 2019).

PERFUMES INSPIRADOS EN ANIMALES

Es muy frecuente que los perfumes se inspiren en plantas que despiden aromas agradables como flores; sin embargo, la fauna silvestre también inspira su creación, como ocurre con la casa de perfumes Zoologist, que crea fragancias inspiradas en los hábitats, comportamientos, olores y apariencia de animales silvestres. Hasta el momento tienen 22 perfumes que llevan el nombre de los animales en los que se inspiran (Zoologist, 2021). Por ejemplo, el perfume Bat (actualmente llamado Nighth Flyer y comercializado por la casa Olympic Orchids), presenta notas de sándalo, madera de olíbano, vetiver, almizcle, tierra húmeda, aire húmedo, notas minerales, resinas, cuero, higos, plátano y frutas tropicales suaves, y representa a través de su aroma, de acuerdo con la autora, a una cueva de piedra caliza fresca, terrosa y húmeda donde viven los

murciélagos, la fruta que comen y el olor limpio y almizclado de su pelaje (Olympic Orchids, 2021).

Otro caso es el de la casa de perfumes Neandertal, cuyo fundador, el artista plástico Kentaro Yamada, creó una escultura en forma de hacha de mano utilizada por los neandertales y que representa el pasado de nuestros parientes homínidos y del propio ser humano. Posteriormente decidió ponerle aroma a su creación y con ayuda del perfumista Euan McCall creó un par de perfumes (Luz y Oscuridad) con el propósito de que al olerlos provocaran la sensación de trasladarnos al pasado y recrear el hábitat que estos homínidos ocuparon. En información disponible en su página comentan:

Este par de fragancias (Oscuridad y Luz) nos lleva en un viaje olfativo profundo en el pasado de la humanidad dando voz a una civilización perdida cuyo ADN vive hoy solo a través de nosotros mismos, mientras también celebramos el futuro que nunca pudieron ver. (Neandertal, 2021).

COMENTARIOS FINALES

Las sustancias producidas por animales, como el almizcle o el ámbar gris, han sido utilizadas por el humano como fijadores de fragancias, lo que provocó la caza de estos organismos y la disminución de sus poblaciones; afortunadamente, hoy se encuentran bajo protección y se han creado sustancias artificiales que las reemplazan, disminuyendo estas amenazas.

Una utilidad poco explorada de los perfumes es como atrayentes para estudios poblacionales de fauna silvestre, como los felinos, por lo que pueden llegar a ser una herramienta para estudios de conservación.

Por otra parte, ¿será posible recrear a través de los aromas parte de la historia natural y los hábitats de los organismos vivos actuales, y de los extintos, en una forma de ecología y paleontología olfativa, como es el caso de los perfumes de las casas Zoologist, Olympic Orchids y Neandertal?



REFERENCIAS

García-Anleu RM (2012). Desempeño del perfume Obsession® en el estudio de jaguares (*Felidae: carnívora*) con cámaras automáticas en la reserva de la biosfera maya. *Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Vida Silvestre*. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad de San Carlos De Guatemala.

Meng X, Gong B, Ma G, Ma G and Xiang L (2011). Quantified Analyses of Musk Deer Farming in China: A Tool for Sustainable Musk Production and Ex situ Conservation. *Asian-Aust. J. Anim. Sci.* 24(10):1473-1482.

Neandertal (2021). Story. Recuperado de <https://neandertal.co.uk/story/>.

Olympic Orchids (2021) Nigth Flyer. Recuperado de <https://orchidscents.com/?product=night-flyer-the-original>.

Osterloff E (2020). What is ambergris? The Trustees of The Natural History Museum, London. Recuperado de <https://www.nhm.ac.uk/discover/what-is-ambergris.html>.

Plitt L (2010). Los jaguares, locos por Calvin Klein. BBC Mundo, Medio Ambiente. Recuperado de https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/06/100625_jaguares_obsession_fotografias_lp.

Ray JC (1995). *Civettictis civeta*. *Mammalian species* 488:1-7.

Rizzo J (2012). What's Ambergris? Behind the \$ 60k Whale-Waste Find. *National Geographic News*. Recuperado de <https://www.national>

[geographic.com/animals/article/120830-ambergris-charlie-naysmith-whale-vomit-science](https://www.nationalgeographic.com/animals/article/120830-ambergris-charlie-naysmith-whale-vomit-science).

Roldan-García P, Soto-Lozada T y Zúñiga-García R (2004). Estudio técnico en la elaboración de perfumes cosméticos de imitación. *Tesis de Licenciatura colectiva para obtener el grado de Ingeniero Químico Industrial*. Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas. Instituto Politécnico Nacional. 116 p.

Swanepoel LH, Camacho G, Power RJ, Amiard P and Do Linh San E (2016). A conservation assessment of *Civettictis civetta*. In Child MF, Roxburgh L, Do Linh San E, Raimondo D, Davies-Mostert HT (eds.) *The Red List of Mammals of South Africa, Swaziland and Lesotho*. South African National Biodiversity Institute and Endangered Wildlife Trust, South Africa.

Viscarra ME, Ayala G, Wallace R and Nallar R (2011). The use of commercial perfumes for studying jaguars. *CATnews* 54:30-31.

Viscarra ME, Ayala GM and Wallace RB. (2019). ¿Atraen los perfumes a los tucanes? *Ornitología Neotropical* 30:45-50.

Zoologist (2021). Bat. Recuperado de <https://www.zoologistperfumes.com/>.

Jaime M. Calderón Patrón
Laboratorio de Biodiversidad
Escuela de Ciencias

Universidad Autónoma Benito Juárez de Oaxaca
(UABJO), Oaxaca de Juárez, México

jaimitocalderon50@gmail.com

El gusto por lo dulce, ¿es universal en el reino animal?

Angélica **Almanza**
Francisco **Mercado**

Comer es una de las cosas que a las personas nos produce uno de los mayores placeres y puede despertar multitud de emociones. Aclarando, por supuesto, que nos referimos a alimentos en un buen estado, o a los que por sus características (nivel de dulzor, qué tanta sal o grasa contienen, etc.) nos parezcan muy apetecibles. Y aunque en gustos se rompen géneros (porque habemos a quienes no nos gusta lo muy dulce o lo muy ácido), hay un consenso: los alimentos dulces, por ejemplo, una manzana en su punto de madurez, una rebanada de pastel, son apetecibles para la mayoría.

Los sabores no siempre son agradables; por lo regular, los alimentos que tienen un sabor amargo causan aversión y evitamos su consumo debido a que lo relacionamos con venenos potentes, con la presencia de posibles compuestos tóxicos en los alimentos. En el caso de los alimentos ácidos, no es clara su función respecto a la necesidad de encontrar fuentes de energía o evitar venenos, sin embargo, el gusto que tenemos por el sabor ácido puede estar relacionado, en algunas especies como la nuestra, con la necesidad de encontrar alimentos ricos en vitamina C y evitar enfermedades como el escorbuto (Frank *et al.*, 2022).

Y por supuesto, hay el ejemplo que se ajusta a las dos caras de la moneda: el sabor salado. Cantidades moderadas



© **Javier Anzués Torres**. Serie "Recuerdos", tinta/papel, 1976.

de sal mejoran el sabor de los alimentos; los humanos utilizamos la sal como aditivo en casi toda la comida que consumimos; incluso, si olvidamos ponerle sal, decimos que está insípida. Sin embargo, cantidades exageradas de sal pueden producir el efecto contrario, hace que los alimentos sean desagradables y evitamos comerlos.

Que los alimentos tengan valencia apetecible o repulsiva tiene que ver con un mecanismo arraigado a nivel genético que nos permite elegir qué comer y qué no basándonos en su sabor. Solo con eso –en principio– sabríamos si será benéfico para nuestra supervivencia. Los alimentos apetecibles lo son porque nos pueden proveer de energía o son seguros para su consumo y podemos, de ellos, adquirir componentes estructurales indispensables para nuestros órganos y tejidos, o bien importantes para la función regular de nuestras células. Al final, el reconocimiento de los sabores, junto con las emociones que despiertan, son un estímulo para el consumo de nutrientes esenciales y para evitar alimentos en mal estado o dañinos (Beauchamp, 2016).

Los compuestos químicos que activan nuestro sistema gustativo se desprenden de los alimentos y se disuelven en la saliva de la boca. Nuestro sistema gustativo reconoce diferentes tipos de químicos y nuestro sistema nervioso central los asocia con

un sabor. La clasificación de los sabores es muy conocida: dulce, salado, ácido, amargo y umami (así se le conoce al sabor que producen los aminoácidos, que componen a las proteínas). Adicionalmente y aunque existe controversia, se puede agregar el sabor de las grasas y del agua (Beauchamp, 2016). Este último pudiera parecer contradictorio, porque una de las principales cualidades del agua es que no tiene sabor, pero nadie puede negar que después de un periodo prolongado de privación de agua, beber un vaso con agua, simple y llanamente isabe a gloria! Y el sistema gustativo tiene mucho que ver con eso.

Hablando solo de los vertebrados, el órgano que detecta los sabores es primordialmente la lengua; en su superficie se encuentran las papilas gustativas, que son estructuras visibles a simple vista, de diferentes formas y tamaños, con aspecto de “bolitas” que sobresalen en la lengua. En las papilas se encuentran los botones gustativos, que son estructuras microscópicas compuestas por varias células gustativas cada uno (nótese que hemos pasado de la papila gustativa, al botón gustativo y ahora a la célula gustativa). Las sustancias químicas de los alimentos son detectadas por estas células gustativas a través del poro gustativo que abre hacia la cavidad oral y que cada uno de los botones tiene.

Las células gustativas presentan unas vellosidades en la región superior o apical (en dirección hacia la cavidad oral) en las que se localizan varios tipos de receptores de membrana a los que se unen las sustancias químicas de los alimentos. Dependiendo de sus características, los químicos pueden o no unirse a cierto tipo de receptor. En el caso de los roedores (específicamente ratas y ratones) y de los humanos (de acuerdo con la dieta, comparimos con ratas y ratones el hecho de que somos animales omnívoros), se conocen receptores para las sustancias dulces, amargas, ácidas y el umami. Algo que es muy importante hacer notar es que cada célula gustativa responde casi exclusivamente a un solo sabor, lo cual establece una especificidad de respuesta para cada sabor. Ya dentro del botón gustativo, las células gustativas pueden “convivir” con células que responden a distintos sabores. En la

región basal (opuesta a la apical) de las células gustativas, el sistema nervioso periférico hace contacto con ellas a través de los nervios facial, glossofaríngeo y vago (que son los pares craneales VII, IX y X). La información de las células sensoriales de la lengua es entonces transmitida al sistema nervioso central y llevada al encéfalo, en donde se genera el reconocimiento de los sabores y las sensaciones que están relacionadas con ellos (Roper y Chaudhari, 2017).

EL SABOR DULCE Y SU RECEPTOR

El sabor dulce es uno de los que más adeptos tiene dentro del consumo de alimentos en la población, y es una trampa evolutiva: se piensa que el gusto por lo dulce tiene el objetivo de encontrar alimentos con la mayor cantidad de energía posible. Cuando hablamos de comidas dulces, hablamos de grandes cantidades de carbohidratos (azúcares) y, en la naturaleza, los azúcares se encuentran en las frutas y hierbas, aunque no todas las frutas son dulces, por ejemplo, el aguacate, y no todo lo dulce es un carbohidrato, por ejemplo, algunos aminoácidos. Los humanos hemos hecho del azúcar toda una industria de consumo, utilizándola de manera indiscriminada como aditivo para postres y bebidas, lo cual ha llevado a la ingesta desmedida de azúcares quedando sobrepasado el objetivo primario de su consumo.

Los carbohidratos (glucosa, fructosa, etc.), algunas sustancias químicas como el aminoácido fenilalanina, y los edulcorantes artificiales se unen al receptor para el sabor dulce y lo activan. Este receptor es codificado por dos genes y su nombre técnico es T1R2+T1R3, nombre que, para ser sinceros, da muy pocas pistas sobre su función. Son en realidad dos proteínas con función de receptores que en la membrana de las células gustativas se unen y forman uno solo (Roper y Chaudhari, 2017). El receptor del sabor dulce no reconoce a otros químicos que no sean los que mencionamos previamente; sin embargo, cualquier molécula que pudiera activarlo produciría la sensación de haber probado algo dulce.

Por otra parte, en la naturaleza hay una multitud de animales que no consumen frutas ni hierbas: los mamíferos que viven en el mar, como las ballenas o

las focas; los mamíferos carnívoros, como los felinos (pequeños o grandes) y buena parte de las aves (que solo comen insectos o semillas). Sin embargo encontrar en la naturaleza una fuente rica en carbohidratos fuera de estos alimentos es complicado. Entonces, ¿los animales que no consumen ni frutas ni hierbas detectan el sabor dulce? La pregunta es válida en el contexto de que en biología siempre se dice “si no se usa, se degenera”, propuesta hecha por Lamarck, y que tiene el sentido de que si por razones ecológicas o ambientales el animal se ve en la necesidad de adaptar su dieta para sobrevivir (como, por ejemplo, el consumo de solo carne o solo bambú), ¿para qué desperdiciar recursos en el mantenimiento de una vía sensorial que no está siendo utilizada?

Hay varios estudios que sugieren que la adaptación a una dieta exclusiva de carne produce la degeneración del receptor por lo dulce (hablando específicamente de la parte T1R2 del receptor, que da la especificidad para la detección de lo dulce). Los gatos domésticos son carnívoros estrictos y son famosos (entre otras peculiaridades) por su indiferencia hacia los alimentos dulces. Para poder determinar el porqué, se llevaron a cabo análisis genéticos de la expresión de los receptores a los distintos sabores y se encontró que el gen que codifica para la proteína T1R2 sufrió una pseudogenización, lo que quiere decir, en palabras simples, que rastros de ese gen están presentes en el genoma del animal, pero no tiene las secuencias adecuadas y necesarias para poder convertirse en proteína, por lo que los gatos están inhabilitados para la detección de carbohidratos o cualquier químico “con sabor dulce”, ya que no tienen receptores T1R2+T1R3 funcionales en las células gustativas. Lo mismo sucede con todos los felinos, pequeños y grandes: el sabor dulce les es indiferente (Beauchamp y Jiang, 2015). Otro ejemplo son los murciélagos, de los cuales la gran mayoría se alimenta de frutas e insectos, siendo solo tres especies las que se alimentan exclusivamente de sangre (de gallinas) y utilizan sensores infrarrojos para detectar

fuentes de sangre más que la percepción gustativa. En estas tres especies, uno de los genes que codifica para el receptor dulce (T1R2) también es un pseudogen (Zhao *et al.*, 2010b).

Tenemos también el ejemplo de las aves; la mayoría consume semillas, animales e insectos como dieta primaria. Considerando esto, sería esperable que las aves no detecten los sabores dulces, y los pollos domésticos, los bermejitos y las aves de rapina son algunos ejemplos de este caso. De hecho, se ha descrito que el gen que produce la proteína T1R2 no se encuentra en su genoma, pero sí se encuentra en animales que están emparentados con ellos, como los reptiles. Al no ocurrir la síntesis de una parte clave del receptor para sabores dulces, las aves que mencionamos son indiferentes al sabor que producen los azúcares. Sin embargo, dentro de las aves, hay un grupo importante conformado por individuos que consumen frutas y néctares. Los colibrís son el caso emblemático; su dieta se basa en el consumo de néctar de las flores, alimento cuya principal característica es su dulzor. Pero, ¿por qué los colibrís tienen gusto por lo dulce a diferencia de otras aves? Es un caso curioso, porque al igual que sus demás parientes aves, los colibrís no cuentan con el gen que codifica para el receptor T2R1, lo que en principio los inhabilitaría para detectar sabores dulces. Sin embargo, si se pone a un colibrí a escoger entre un bebedero con agua simple y otro con agua adicionada con algún azúcar, el colibrí siempre escoge beber de aquel que contiene azúcar, lo que da certidumbre de que sí detecta los carbohidratos en el agua de los bebederos o en los néctares. Entonces, ¿cómo hacen los colibrís para detectar a los carbohidratos? La detección del sabor umami producido por el consumo de proteínas (el sabroso sabor de la carne), se da por un receptor similar al que se activa por sustancias dulces, pero el del umami está compuesto por las proteínas T1R1 + T1R3. Este receptor sí se encuentra en el repertorio de los receptores gustativos de las aves y, como era de esperarse, al igual que ocurre con todos los receptores de este tipo que se han

estudiado en el reino animal, se activa ante la presencia de aminoácidos como el L-glutamato. En el caso de los colibrís, se descubrió que este receptor para el sabor de las proteínas o umami, tiene algunas mutaciones que lo hacen un poco distinto al del receptor de umami de, por ejemplo, los pollos. Debido a esas mutaciones, el receptor para umami T1R1 + T1R3 del colibrí además de activarse cuando es expuesto a aminoácidos (la cual sería su función primaria), también se activa cuando es expuesto a azúcares simples. Este hallazgo inesperado explica por qué los colibrís pueden detectar azúcares a pesar de no tener el receptor para dulce que de manera habitual en el resto de los vertebrados detecta esos nutrientes, el T1R2, y que el receptor al umami en los colibrís y otras aves consumidoras de néctar suple esa función, por lo que tienen la motivación de origen sensorial para consumir el néctar de las flores (Toda *et al.*, 2021). Esta adaptación, seguramente, fue parte de la supervivencia de esa especie y, ahora, gracias a estas mutaciones estos animales se encuentran ampliamente distribuidos en todo el mundo alimentándose de líquidos dulces para obtener energía.

Otro animal del que se sospechaba que quizá no podía detectar el sabor dulce era el panda gigante, esto debido a que su dieta se basa exclusivamente en el consumo de hojas de bambú, las cuales tienen muy bajas concentraciones de azúcares. Para determinar si el sistema gustativo de los pandas detecta el sabor dulce, se hicieron estudios de preferencia para beber agua simple o agua con azúcar y se observó que los pandas preferían beber agua azucarada, lo cual indicó que tienen intacta la vía sensorial de la detección de carbohidratos en los alimentos (o como en este caso, en las bebidas). Lo anterior se corroboró con estudios genéticos y a nivel celular en que se detectó en su genoma el receptor T1R2 + T1R3 y se demostró que se activaba cuando era expuesto a carbohidratos en ensayos *in vitro* (Jiang *et al.*, 2014).

Hablando de los osos en general, aunque pertenecen al orden Carnívora, la mayoría tiene una dieta variada (por ejemplo, los osos negros y los famosos osos pardos –los que se roban la comida

de los pícnicos en el parque nacional de Yellowstone), son omnívoros y algunas especies son carnívoras estrictas (como los osos polares), en tanto que otras, como los pandas, son herbívoras.

La dieta del panda gigante basada solo en hojas del bambú (que constituye el 99 % de su consumo de alimentos) es una adaptación ecológica peculiar; esas hojas son muy poco nutritivas y por lo mismo se requiere consumir una enorme cantidad de ellas para satisfacer las necesidades energéticas de un animal tan grande (un adulto consume de 12 a 38 kg por día), lo que hace suponer que debió ocurrir una presión evolutiva que llevó a una adaptación del sistema gustativo, como ocurrió en otras especies animales. Cuando se secuenció el genoma completo de estos animales, se encontró que el gen para el receptor a umami (específicamente para la proteína T1R1) es un pseudogen, lo que sugiere que el sabor de las proteínas debe serles indiferente (insectos o carne), aunque esto último necesita ser corroborado ya que no existen estudios conductuales de preferencia por dichos alimentos en los pandas (Zhao *et al.*, 2010a). Sin embargo, evolutivamente hablando, no suena descabellado que dicha adaptación haya podido ocurrir; el panda en estado salvaje y en cautiverio solamente consume hojas de bambú para alimentarse, y la vía sensorial de la detección de alimentos ricos en proteínas representaría un lujo innecesario. De lo que sí hay evidencia, es de que el panda gigante tiene un mayor repertorio de receptores para sustancias amargas respecto a sus congéneres, lo cual resulta pertinente en las especies herbívoras para detectar la presencia de compuestos tóxicos, ya que son más susceptibles de sufrir envenenamiento (Shan *et al.*, 2017). Es probable que el ancestro del panda gigante prescindiera de la carne, lo que llevó a la degeneración del gen para umami y reforzó el estilo de vida herbívoro del panda. Sin embargo, contrario a lo esperado (y a lo propuesto por Lamarck), en otros herbívoros como la vaca y el caballo, el receptor a umami se encuentra intacto y aún es una incógnita el para qué, por lo que las razones de que un gen se mantenga funcional o degenere hacia un pseudogen parecen variar entre especies.



© Javier Anzures Torres. Serie "Recuerdos", tinta/papel, 1974.

CONCLUSIONES

El gusto por lo dulce, es universal entre los humanos en mayor o menor medida. Sin embargo, no es universal dentro del reino animal; de hecho, no lo es el gusto por ningún sabor. Puede ser entonces sorprendente para nosotros, como seres humanos, que el sabor dulce no produzca en cualquier animal la misma sensación que nos produce a nosotros, a quienes puede generar una experiencia placentera. Los sabores son una motivación para seleccionar nuestra dieta y nos basamos en ellos para incrementar o evadir el consumo de ciertas sustancias. Hay casos en que el nicho ecológico de ciertos animales y la adaptación a este hicieron necesarias ciertas adaptaciones que incluyeron a los receptores de las células gustativas favorecieron la obtención de los alimentos y propiciaron una mayor supervivencia de la especie. Para terminar, aclararemos que hay ejemplos más extremos de adaptación del sistema gustativo de los aquí citados y provienen de los mamíferos marinos. Es muy probable que estos animales que retornaron al mar, como las ballenas barbadas y los delfines nariz de botella, hayan tenido una pérdida sensorial muy amplia de modalidades del gusto, y que hayan preservado solamente la capacidad de detectar el sabor salado, ya que los

genes para la detección del gusto dulce, amargo y umami se encuentran como pseudogenes en sus genomas. Esto parece estar apoyado por el hecho de que no se reconocen papilas gustativas en sus lenguas y por la manera en que se alimentan, ya que cuando degluten sus alimentos, tragan la comida sin probarla, lo que hace suponer que el gusto no les es muy necesario; no, cuando menos, desde la idea que tenemos de cómo nos es útil a nosotros.

REFERENCIAS

Beauchamp GK (2016). Why do we like sweet taste: A bitter tale? *Physiology and Behavior* 164:432-437.

Beauchamp GK, Jiang P. (2015) Comparative biology of taste: Insights into mechanism and function. *Flavour* 4:9.

Frank HER, Amato K, Trautwein M, Maia P, Liman ER, Nichols LM, Schwenk K, Breslin PAS and Dunn RR. (2022) The evolution of sour taste. *Proceedings of the Royal Society B* 289:20211918.

Jiang P, Josue-Almqvist J, Jin X, Li X, Brand JG, Margolske RF, Reed DR and Beauchamp GK (2014). The bamboo-eating giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) has a sweet tooth: behavioral and molecular

responses to compounds that taste sweet to humans. *PLoS One* 9:e93043.

Roper SD and Chaudhari N (2017). Taste buds: cells, signals and synapses. *Nature Reviews Neurosciences* 18:485-497.

Shan L, Wu Q, Wang L, Zhang L and Wei F (2018). Lineage-specific evolution of bitter taste receptor genes in the giant and red pandas implies dietary adaptation. *Integrative Zoology* 13:152-159.

Toda Y, Ko MC, Liang Q, Miller ET, Rico-Guevara A, Nakagita T, Sakakibara A, Uemura K, Sackton T, Hayakawa T, Sin SYW, Ishimaru Y, Misaka T, Oteiza P, Crall J, Edwards SV, Buttemer W, Matsumura S and Baldwin MW (2021). Early origin of sweet perception in the songbird radiation. *Science* 373:226-231.

Zhao H, Yang JR, Xu H and Zhang J (2010a). Pseudogenization of the umami taste receptor gene *Tas1r1* in the giant panda coincided with its dietary switch to bamboo. *Molecular Biology and Evolution* 27:2669-73.

Zhao H, Zhou Y, Pinto CM, Charles-Dominique P, Galindo-González J, Zhang S and Zhang J (2010b). Evolution of the sweet taste receptor gene *Tas1r2* in bats. *Molecular Biology and Evolution* 27:2642-50.

Angélica Almanza
Francisco Mercado
Laboratorio de Fisiología Celular
Dirección de Investigaciones en Neurociencias
Instituto Nacional de Psiquiatría
Ramón de la Fuente Muñiz
almanza@imp.edu.mx



Cómo amortiguar el declive cognitivo del envejecimiento

Juan **Silva-Pereyra**
Martina **Ferrari-Díaz**

Solemos oír a la abuela quejarse de no recordar como antaño. A veces ella dice no recordar dónde dejó sus lentes, o si apagó la estufa después de cocinar, e incluso qué desayunó en la mañana. Pero hay personas que tienen problemas más severos. No recuerdan, por ejemplo, que una hora atrás tomaron ya su medicamento o quizás no puedan reconocer a personas muy cercanas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022) ha establecido que el envejecimiento es el resultado de la acumulación de una variedad de daños a nivel molecular y celular que se dan a lo largo del tiempo. Estos llevan a una disminución de la capacidad física y mental, y a un mayor riesgo de enfermedad que en última instancia desencadena la muerte. Pero no todos envejecen de la misma manera. Algunos adultos mayores tienen cambios degenerativos importantes en su cerebro, que llevan a la pérdida de la masa encefálica como resultado de la muerte neuronal.

Esto puede deberse a diversos factores como la disminución en la irrigación sanguínea que oxigena los tejidos, o la acumulación de moléculas proinflamatorias activadas por la obesidad, o incluso la acumulación de sustancias de desecho metabólico que dañan el tejido cerebral (placas de amiloide, como sucede en la enfermedad de Alzheimer), entre otros (Castelli *et al.*, 2019).

¿ALGUNOS ENVEJECEN MÁS SANAMENTE QUE OTROS?

Recientemente, la OMS (2019) propuso el término de “envejecimiento saludable” como un proceso que permite el bienestar en la población de adultos mayores a través del desarrollo y mantenimiento de la capacidad funcional. Para llegar a ello, el adulto mayor debe tener las habilidades físicas y mentales necesarias que le permitan el desarrollo de sus necesidades básicas.

Pero, ¿cómo llegar a este estado? Las neurociencias describen el efecto benéfico de varios factores que se desprenden del estilo de vida en el envejecimiento. Estos factores pueden tener un efecto en la estructura y función cerebral que amiora las deficiencias en la cognición en el adulto mayor por un fenómeno llamado compensación (Cabeza *et al.*, 2018).

Hace ya tres décadas que los neurocientíficos proponen un modelo llamado “Reserva” que pretende dar sentido a las diferencias individuales en el envejecimiento. Los psiquiatras han denominado a este fenómeno de manera general “resiliencia”, término que se refiere a la capacidad de adaptación con resultados positivos cuando el individuo se encuentra en situaciones adversas (Montine *et al.*, 2019).

RESERVA

Algunos científicos tienen la idea de que existe un mecanismo que hace frente al daño cerebral. Esta idea surge de la observación reiterada de la falta de relación entre el grado del daño cerebral y su manifestación clínica. Por ejemplo, en un grupo de diez adultos mayores normales sin problemas clínicos de memoria, se descubrió *postmortem* que tenían una patología cerebral avanzada consistente con la enfermedad de Alzheimer (Stern, 2002).

Se especuló que estos individuos no tenían problemas porque sus cerebros eran más grandes que el promedio. Se conoce de diversos casos médicos en los que una lesión cerebral puede producir en

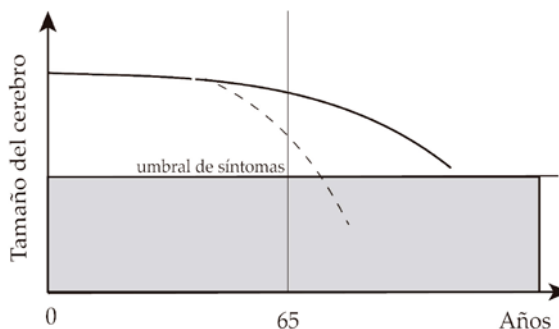


Figura 1. Relación entre reserva cerebral (tamaño del cerebro) y la aparición de síntomas con respecto a la edad. Cuando hay un declive importante en la reserva cerebral, se aceleran las deficiencias en la cognición.

un paciente una incapacidad profunda para efectuar sus actividades básicas diarias y, en contraste, tener un efecto mínimo en otra persona. Incluso puede variar de una persona a otra en el tiempo y el grado de recuperación.

A principios de la década de 1990, se propuso el concepto de “reserva cerebral” y “reserva cognitiva” para darle sentido a la disyuntiva entre la patología cerebral y las manifestaciones clínicas (Stern, 2002).

Según Robert Katzman, la “reserva cerebral” incluye mecanismos biológicos que se desarrollan a lo largo de la vida del individuo. Estos esculpen la estructura del cerebro y generan una función cerebral óptima para amortiguar el daño por cualquier evento adverso, incluso el envejecimiento en sí mismo. Esto presupone que, una vez que la capacidad de reserva del cerebro se agota más allá de algún umbral crítico fijo, surgen déficits clínicos o funcionales específicos. Así, las diferencias individuales en la capacidad de reserva del cerebro conducen a diferencias en la expresión clínica de un grado particular de daño cerebral (Figura 1). Esta idea ayuda a los neurocientíficos a determinar tanto los factores de riesgo, como los factores protectores que tendrán una implicación importante en la cognición del adulto mayor.

Según Yaakov Stern, profesor de neurología y neuropsicología de la Universidad de Columbia, la reserva cognitiva se refiere a las diferencias individuales en la mente y en las redes neuronales subyacentes a la conducta o el pensamiento que permiten que algunas personas se enfrenten mejor

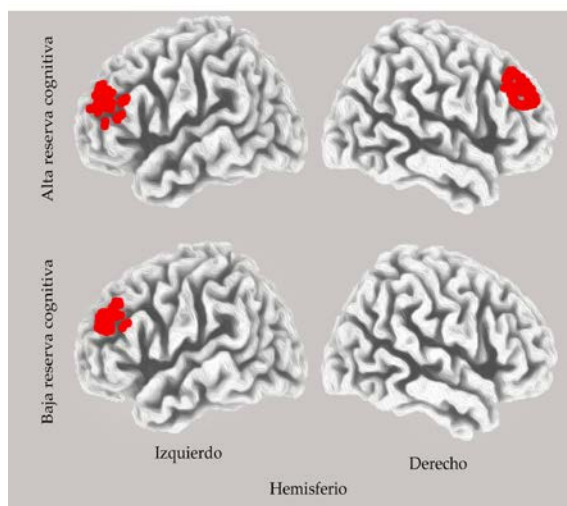
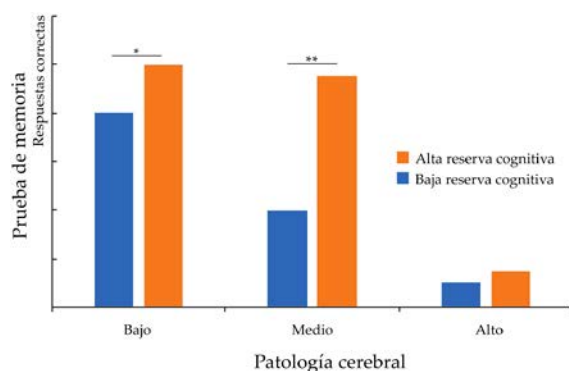


Figura 2. La reserva cognitiva se manifiesta en el desempeño conductual (mayor número de aciertos) y en el funcionamiento cerebral. A) Representación hipotética del desempeño en la ejecución de una tarea de memoria. Una mayor reserva cognitiva se asocia con un mejor desempeño (barras más altas) y solo se ve un declive significativo cuando la patología cerebral es severa. B) Representación de la activación cerebral durante la ejecución de una tarea de memoria. Una mayor reserva cognitiva se asocia a un mejor desempeño que puede activar ambos hemisferios como compensación (áreas cerebrales activadas en color rojo).

que otras al daño cerebral (Stern *et al.*, 2020). Este concepto sugiere que el cerebro hace frente activamente al daño mediante el uso de procesos cognitivos preexistentes o mediante la activación de procesos compensatorios. Aunque dos pacientes pueden tener la misma reserva cerebral, el paciente con más reserva cognitiva puede tolerar una lesión mayor antes de que se manifieste el deterioro clínico. Por lo tanto, con este concepto no se asume un límite o umbral fijo en el que se producirá un deterioro funcional. Más bien se enfoca en los procesos que permiten a las personas mantener la función a pesar de sufrir daño cerebral (Figura 2).

Si consideramos que la reserva cognitiva es la capacidad cognitiva preexistente (o premórbida) de

una persona, es decir, su capacidad cognitiva antes del declive relacionado con el envejecimiento o el daño cerebral, entonces podemos medirla en un momento determinado, pues la reserva cognitiva, así como la reserva cerebral, puede aumentar o disminuir a lo largo de la vida. El nivel y el cambio en la reserva cognitiva a lo largo de la vida están en función de la interacción de la predisposición genética y las influencias ambientales.

¿CÓMO MEDIR LA RESERVA COGNITIVA?

Si la reserva cerebral cambia a lo largo de la vida, el resultado de su medición dependerá del momento preciso en que se haga. El volumen cerebral de diferentes regiones, el volumen total de la masa encefálica, el grosor de la corteza cerebral, el volumen de la sustancia blanca (específicamente del cuerpo calloso o de la corona radiata), son algunos ejemplos de las mediciones por medio de imágenes de resonancia magnética que se han usado como medidas indirectas de reserva cerebral.

Por otra parte, los hábitos alimenticios, la actividad física, la educación, la exposición a la contaminación del aire, la complejidad ocupacional y la participación en actividades cognitivamente estimulantes son algunos de los factores medioambientales y experienciales que influyen en la reserva cognitiva y que son susceptibles de medición.

Desafortunadamente, no hay una forma fácil y directa de medir la reserva cognitiva, pues esta es el resultado acumulado de los ya mencionados y de una infinidad de otros factores. Por eso, para estudiarla y descubrir qué actividad o factor puede ser benéfico para la vida diaria del adulto mayor, se deben considerar mediciones indirectas. En la medición de estos factores se toma en cuenta, individualmente o en índices compuestos, lo que se denomina indicadores indirectos de la reserva cognitiva (Harrison *et al.*, 2015).

Para conocer las actividades que reflejan el nivel previo y el actual de la reserva cognitiva, los neurocientíficos cuestionan al sujeto respecto a lo que

lleva o ha llevado a cabo a lo largo de su vida; por ejemplo, la magnitud y frecuencia de ocurrencia de las actividades de ocio, académicas, sedentarismo; el quehacer en el hogar, su actividad física en casa o al aire libre.

Las mediciones de estas actividades pueden incluirse en modelos analíticos como variables que pueden afectar la reserva cognitiva o ser impulsadas parcialmente por esta. Esta distinción entre afectar a, o ser impulsada por la reserva, es muy importante porque los factores que contribuyen a la reserva pueden representar objetivos potenciales para la intervención.

Las variables que influyen en la reserva cognitiva se pueden caracterizar como medidas estáticas o dinámicas (Malek-Ahmadi *et al.*, 2017). El logro ocupacional y los años de educación generalmente permanecen estáticos después de cierto tiempo, pues un adulto mayor, cuando se evalúa, ya tiene muchos años de que terminó sus estudios, y también puede suceder que hayan pasado varios años de su jubilación.

En cambio, salir a caminar al parque, ir al cine o al teatro, pasar tiempo con los nietos y la familia, ir a una fiesta o simplemente jugar con los amigos, son construcciones dinámicas que muy probablemente se sigan modificando en etapas tardías de la vida. Todas ellas son actividades que estimulan la función intelectual general.

Las medidas estáticas y dinámicas de la reserva cognitiva pueden tener diferentes efectos en la interacción entre el declive cognitivo y la neuropatología propios del envejecimiento. Es posible que las medidas dinámicas reflejen el enriquecimiento de la reserva cognitiva que ocurre más allá del logro educativo y ocupacional.

Esto sugiere que las medidas de reserva cognitiva dinámicas son superiores a las medidas estáticas en su capacidad para predecir el rendimiento cognitivo en presencia de patología cerebral. Así, la participación en actividades culturales, espirituales, físicas, intelectuales y comunales puede contribuir al desarrollo de la reserva cognitiva.

CONCLUSIÓN

Hay esperanzas de tener un envejecimiento sano, pero hay que poner manos a la obra. Es importante alentar a los adultos mayores a hacer ejercicio, a disfrutar de una buena novela, a aprender a tocar un instrumento, a bailar en un salón o, inclusive, a tener momentos de convivencia tanto familiar como entre pares.

Habría que entender también que los momentos más placenteros disminuyen el estrés y los síntomas depresivos, mismos que, se ha reportado, disminuyen la esperanza de vida. Por lo tanto, aumentar la reserva cognitiva puede disminuir los efectos negativos del envejecimiento en la cognición y el estado de ánimo, mejorando así la calidad de vida del adulto mayor.

REFERENCIAS

- Castelli V, Benedetti E, Antonosante A, Catanesi M, Pitari G, Ippoliti R, Cimini A and d'Angelo M (2019). Neuronal Cells Rearrangement During Aging and Neurodegenerative Disease: Metabolism, Oxidative Stress and Organelles Dynamic. *Frontiers in molecular neuroscience* 12:132. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2019.00132>.
- Montine TJ, Cholerton BA, Corrada MM, Edland SD, Flanagan ME, Hemmy LS, Kawas CH and White LR (2019). Concepts for brain aging: resistance, resilience, reserve, and compensation. *Alzheimer's Research & Therapy*, 11(1): 22. <https://doi.org/10.1186/s13195-019-0479-y>.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (marzo, 2019). Década del Envejecimiento Saludable 2020-2030. Primer informe de progreso. Recuperado de: https://www.who.int/docs/default-source/documents/decade-of-health-ageing/decade-healthy-ageing-update1-es.pdf?sfvrsn=d9c40733_0.
- Organización Mundial de la Salud, OMS (octubre, 2022). Envejecimiento y salud. Recuperado de: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health>.
- Stern Y (2002). What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society*. 8:448-460. <https://doi.org/10.1017/S1355617702813248>.
- Stern Y *et al* (2020). Whitepaper: Defining and investigating cognitive reserve, brain reserve, and brain maintenance. *Alzheimer's & Dementia* 16(9):1305-1311. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2018.07.219>.

Juan Silva-Pereyra
Martina Ferrari-Díaz
Facultad de Estudios Superiores Iztacala
Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM
jsilvapereyra@gmail.com

Cuerpo *cyborg* y subjetividades. Una respuesta al transhumanismo

Gilberto **Castrejón**

En términos generales, los debates filosóficos actuales en torno a la naturaleza humana giran alrededor de nuevas concepciones que, en muchos aspectos, plantean una disolución del viejo problema mente-cuerpo (ver Rabossi, 1995)¹, y tal que, a su vez, están mediados por los hallazgos de la tecnología y las ciencias, dígase la biología, la psicología o la neurociencia. En atención a esto último, ciertas concepciones, como el transhumanismo, tratan de dar cuenta del problema de la naturaleza humana, vinculándolo a la idea de información, y tal que “la naturaleza humana se reduce a un código” (a este tenor, puede verse Artmann, 2008).

El transhumanismo asume la posibilidad de que los seres humanos puedan sobrepasar su naturaleza biológica, en pos de “adquirir” una nueva, mediada por la tecnología. Como menciona Robinson Hanson:

El transhumanismo es la idea de que las nuevas tecnologías serán capaces de cambiar nuestro mundo a tal nivel en los próximos cien o doscientos años que nuestros descendientes, en muchos aspectos, no serán más humanos. (cit. en Aguilar García, 2008)

Lo que traería el surgimiento de un nuevo tipo de ser, el posthumano.



© Javier Anzués Torres. Serie "Historias",
tempera/papel, 55 x 67 cm, 2002.

La perspectiva posthumana se basa en la hipótesis histórica de la decadencia del humanismo, pero va también más allá para explorar nuevas alternativas, sin por eso recaer en la retórica antihumanista de la crisis del Hombre. Esta se empeña, en cambio, en elaborar modos alternativos para la conceptualización de la subjetividad posthumana (Braidotti, 2015).

En atención a esto último, considero que la categoría de cuerpo *cyborg* (ver Haraway, 1995) ofrece un espacio de análisis y crítica al transhumanismo y lo posthumano, pues cabe señalar que el tema de la subjetividad se vale de la categoría de cuerpo como punto nodal, y dado que, a tenor de los trabajos de Michel Foucault (puede verse Gutting, 2003), donde se habla de proceso de subjetivación, desde este último pretendo configurar una respuesta al transhumanismo y lo posthumano, en términos de que su idea de cuerpo *cyborg* no permite identificar cómo podría hablarse de una "subjetividad posthumana", entre otros aspectos.

En el primer apartado desarrollo los conceptos de transhumanismo, posthumano y cuerpo *cyborg*, ubicándolos en contraposición con la tradicional concepción humanista. Posteriormente, realizo una revisión del concepto de proceso de subjetivación,

tomando como hilo conductor la filosofía de Foucault. Finalmente, llevo a cabo una respuesta al transhumanismo y lo posthumano, alrededor de ciertos puntos controversiales: el concepto de "cuerpo textual", tomado de los avances de la bioingeniería, y que precisamente se ve materializado en la figura de cuerpo *cyborg*; su notable reduccionismo del concepto de información; y la supuesta disolución del problema mente-cuerpo, que según la postura transhumana resuelve, al concentrar la idea de naturaleza posthumana en una especie de monismo, tal que la conciencia solo es información, y de ahí, fundamentando una concepción de subjetividad, que parecería superar la concepción foucaultiana.

Mi punto es que al tratar las categorías anteriores, la filosofía transhumanista y su concepción de un ser posthumano, configurado en primera instancia en la figura del *cyborg*, tiende a forzar y reducir sus argumentos sobre problemáticas todavía no resueltas, como es el caso del concepto de información, dado que la concepción de información en su sentido biológico no es la misma, por ejemplo, que en el ámbito de la inteligencia artificial. En este sentido, considero que algunos de los preceptos del transhumanismo podrían parecer más un mito que algo objetivo. ¿Puede hablarse así de una "subjetividad posthumana"?

CUERPO CYBORG COMO MODELO POSTHUMANO.

LA APUESTA DEL TRANSHUMANISMO

A partir de la crisis del humanismo, hablar de naturaleza humana resulta ser una empresa que de una u otra forma tiene que vérselas con la supuesta disolución del viejo problema cartesiano de la dicotomía mente-cuerpo. En la actualidad asistimos al surgimiento de posturas filosóficas que urgen por configurar una nueva ontología sobre lo humano mediada por un apogeo tecnológico, de tal manera que postulan el abandono de la categoría de "cuerpo material", en su acepción biológica, para dar paso a lo que Teresa Aguilar García llama "cuerpo textual": "el momento en el que el texto ha sido interiorizado por el cuerpo" (Aguilar García, 2008).

Esto es, concebir que lo biológico, lo material del cuerpo humano se identifica con lo textual, el código. En este sentido: ¿sería el cuerpo *cyborg* el epítome de dicho momento? Así, la filosofía transhumanista, abanderada por pensadores como Nick Bostrom, postula que, efectivamente, podría ser el primer momento, el primer paso hacia lo posthumano. Un cuerpo *cyborg* es un cuerpo cibernético. Un cuerpo que posee una condición material, pero asimismo es un híbrido entre una parte biológica y una parte artificial, un ente mitad humano y mitad máquina. Pero entonces: ¿dicho cuerpo permite seguir ubicándolo como entidad somática y como espacio semiótico, fenomenológico?

El transhumanismo es una corriente de pensamiento que plantea que la “humanidad comienza a ser afectada profundamente por la ciencia y la tecnología” (Diéguez, 2017), y tal que el ser humano, a través de estas, podrá sobrepasar sus capacidades físicas, intelectuales, perceptivas... De aquí que el primer paso es la condición del *cyborg*, del cuerpo *cyborg* como “liberación de la condición humana”, incluyendo su carácter finito. Con lo que emergería un nuevo tipo de ser: el posthumano, aquel ser “con una capacidad física, intelectual y psicológica sin precedentes, autoprogramable, autoconfigurable, potencialmente inmortal, ilimitado” (Aguilar García, 2008). Dado todo lo anterior, cabría aquí la cuestión: ¿el cuerpo *cyborg* permite definir nuevos modelos de subjetividad?

SUBJETIVIDAD Y SUBJETIVACIÓN

En términos generales, el problema de la naturaleza humana en los debates actuales enfrenta dos tipos de concepciones sobre el cuerpo, enraizadas cada una en su propio marco epistémico (ver Guerrero Mc Manus, 2015).

Por un lado se encuentra la visión naturalista, biológica, que entiende al cuerpo como una entidad material y causal, y donde los estados mentales serían asimismo producto de interacciones físicas, causales, lo que implicaría definir a la naturaleza humana sin necesariamente tener que hacer la separación entre mente y cuerpo.



© Javier Anzures Torres. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.

Por otro lado, está la concepción del cuerpo como “entidad semiótica”, y donde la naturaleza humana, si puede hablarse de tal, dependería de una condición social e histórica, esto es, resulta susceptible de ser constituida, y de nuevo, no habría necesidad para hacer la distinción entre mente y cuerpo. El sujeto en esta última concepción sería el resultado de distintas instancias. En cierto sentido, el problema de la subjetividad en Foucault se mueve por esta segunda acepción y, aun así, es importante señalar sus análisis sobre la constitución del sujeto, a través de la categoría de cuerpo.

Foucault entiende que el sujeto no preexiste al proceso que lo produce. Es decir,

Para Foucault, es preciso estudiar “la manera como un ser humano se transforma en sujeto”... El sujeto se define por un tipo de relación de poder, la ideología o la disciplina, que lo somete marcándolo corporal y mentalmente” (Le Blanc, 2008).

Si el sujeto es producto de factores, dispositivos, relaciones, etc., ¿acaso no es menester referirse a “procesos de subjetivación”? No habría necesidad, por tanto, para hablar de naturaleza humana. El mismo Foucault menciona:



© Javier Anzures Torres. Serie "Recuerdos", tempera/papel amate, 45 x 58 cm, 1981.

Es cierto que desconfío un poco de la noción de naturaleza humana, y es por el siguiente motivo: creo que entre los conceptos o nociones que una ciencia puede utilizar no todos tienen el mismo grado de elaboración, y que en general no poseen la misma función ni el mismo tipo de uso posible en el discurso científico (Chomsky, Foucault, 2006).

Por lo que, si entendemos en un cierto sentido a Foucault, diríamos que echa por la borda el concepto clásico de la filosofía moderna, el de sujeto, que lleva implícita la idea de una naturaleza humana. Así, con Foucault, el sujeto se constituye mediante procesos de subjetivación, por algo la subjetividad es dinámica, se “somete a los cuerpos a procesos de subjetivación, creando cuerpos dóciles, disciplinados.”

Hasta aquí, en atención al tema, cabría una cuestión fundamental: ¿puede hablarse de una subjetividad posthumana, atendiendo a la figura del *cyborg*, y que no se enmarque en los análisis foucaultianos? Entusiastas del transhumanismo y lo posthumano, como Rosi Braidotti, así lo creen:

El sujeto posthumano no coincide con el postmoderno, porque no se apoya en ninguna premisa antifundacionalista. Tampoco coincide con el postestructuralista, puesto que no se explica con la inflexión lingüística y con otros métodos deconstructivos (Braidotti, 2015).

En términos generales, autores como Braidotti plantean sus reflexiones tomando como referencia a categorías como “cuerpo *cyborg*” y “lo posthumano”, considerando que la “subjetividad posthumana” implica tomar en cuenta que dicha subjetividad ya no se enmarca en contextos como los que las ciencias humanas han llevado a cabo, dado que tal

subjetividad debe atender a un ser *híbrido*, que se conforma por aspectos complementarios (materiales), distintos a los meramente biológicos.

Así, dada principalmente su identificación de una crisis de lo humano, Braidotti afirma que el modelo biopolítico foucaultiano, el que resulta vital en los análisis de Foucault sobre la subjetivación, ya no alcanza a dar cuenta de la subjetividad posthumana.

Se observa en Braidotti una marcada tecnofilia y la apuesta por configurar nuevas ontologías del cuerpo y la conciencia, ideas mediadas por un conjunto de saberes producto de la euforia tecnológica, que a tenor de Foucault, serían aquellos saberes que han triunfado en nuestra época. Cabe señalar que:

Los humanos no están inacabados, al contrario, sus técnicas, sus prótesis, los contextos de artefactos en los que evolucionaron sus ancestros homínidos les constituyeron como especie: no necesitan la técnica para completarse, son un producto de la técnica. Son, fueron, somos lo que llamaré seres cibernéticos, seres hechos de materiales orgánicos y productos técnicos como el barro, la escritura, el fuego. (Broncano, 2009).

De aquí, parecería que somos producto de la técnica, y siempre hemos llevado auestas prótesis técnicas creadas por nosotros mismos, ¿será que la tecnología, y nuestra interrelación íntima con esta, no es que nos haga o hará *cyborgs*, cuando en un cierto sentido ya lo somos?

Entonces: ¿cuál es el tipo de subjetividad posthumana del que hablan los partidarios del transhumanismo, cuando finalmente, nuestra subjetividad ya desde siempre se ha configurado teniendo presentes aspectos materiales, dispositivos técnicos? Considero que autores como Braidotti no hablan de algo que está siendo o estará siendo, sino que siempre ha sido. A su vez, su análisis no necesariamente atiende a una “evolución natural” de nuestra condición como seres vivos, es más bien, un enfoque, una “manera de ver” que obedece a nuestra misma intencionalidad, por algo su concepción está mediada por la euforia tecnológica.



© Javier Anzures Torres. Serie "Historias"
tempera/papel, 56 x 78 cm, 2002.

EL TRANSHUMANISMO Y LO POSTHUMANO. UN RELATO QUE AÚN NO PUEDE CONTARSE

Hagamos una recapitulación.

La desaparición de la materia, el sueño de una filosofía berkeleyana, es propugnada por la filosofía transhumanista que, nacida en los últimos años del siglo pasado, preludia un futuro inmaterial para la humanidad. Esta corriente pretende una abstracción real de nuestra materia orgánica o cuerpo a través de una descarga o transbiomorfosis, que tradujera las redes neuronales de nuestras mentes a la memoria de un ordenador. Su objetivo es, exactamente, extraer la mente del cuerpo superfluo, del cuerpo obstáculo, para acceder al espacio líquido de las ondas electromagnéticas (Aguilar García, 2008).

Como corriente filosófica, pareciera que el transhumanismo constituye un relato que todavía no puede contarse, puesto que nos habla de un futuro y de ciertas posibilidades que están lejos de ser un hecho. Quizá, en un sentido positivo, esta postura es un ejemplo fehaciente de buena ideología y/o ciencia ficción.

Primer mito: el transhumanismo como relato del futuro.

Como hemos visto, es posible considerar la figura del *cyborg* como primer paso de lo que el transhumanismo plantea sería el futuro de un ser humano, el ser posthumano; en primera instancia, el *cyborg* es un ser que privilegia el factor informacional, y por tanto, constituye un híbrido entre el cuerpo biológico y el “cuerpo máquina”, definido por el “cuerpo *cyborg*”. Y como hemos visto, ¿acaso no siempre hemos sido, en un cierto sentido, una especie de *cyborgs*? Segundo mito: el transhumanismo afirma que seremos primeramente *cyborgs*, hasta llegar a una condición posthumana.

Quisiera concluir trayendo a colación algunos puntos básicos de estas concepciones, configurando una respuesta, dado que considero que se mueven sobre terrenos bastante espinosos.

1) La filosofía transhumanista, y su concepción del *cyborg* como primer modelo del ser posthumano, está directamente influenciada por una tecnofilia que obedece a ciertos aspectos propios de la época, y no a una visión plenamente objetiva de la evolución del ser humano, sea esta mediada o no por la tecnología. De ahí que sus ideas sobre una nueva ontología del cuerpo, la consciencia, lo humano en sí, no logran su cometido, dado que se basan principalmente en un determinismo tecnológico, postura controversial en el ámbito de los estudios sobre ciencia y tecnología. Somos *cyborgs*, seres que siempre han llevado “prótesis técnicas”, que inventan artefactos y entornos artificiales. Esa misma condición *cyborg* es la que nos subjetiva y nos va conformando. ¿Hace falta especular sobre una subjetividad posthumana?

2) Resulta interesante la pretensión del transhumanismo de concebir al ser humano como “materialidad textual”, a partir de los avances de la biología, con el descubrimiento del código genético por ejemplo, y de ahí plantear que, en un futuro, pueda transferirse la identidad y la consciencia a un sistema distinto del ser humano, materializando completamente a un ser posthumano, cuyo primer paso

sería el *cyborg*; sin embargo, el problema central radica en establecer tanto condiciones materiales para llevar a cabo dicha transferencia, como que el concepto de información en biología y en teoría de la información resultan controversiales.

No es lo mismo información, en su carácter matemático, algorítmico, que lo que se entiende como información genética. ¿Será realmente que los signos definen la vida, y no los genes o moléculas, por ejemplo? Tercer mito: El transhumanismo redefiniendo el concepto de vida, fuera de su contexto biológico.

3) No hay algo así como ontología *cyborg*. Si bien el cuerpo *cyborg*, cuando es precisamente representado como híbrido, como potenciado a partir de la tecnología, puede que dé paso a nuevas subjetividades; sin embargo, la subjetividad atiende a contextos, a devenires históricos, a esquemas conceptuales y sociales que van subjetivando a los individuos. Y si siempre hemos sido *cyborgs*, ¿no acaso la subjetividad de estos atiende a dicha caracterización?

Un ser posthumano, a la sazón del transhumanismo: entidad material-informacional, que posee un “receptáculo” a modo de cuerpo, ¿permite aplicar la categoría de subjetividad a tal ser? Rosi Braidotti habla de una subjetividad nómada posthumana, que según la autora rebasa las concepciones foucaultianas; sin embargo, atiende a una concepción monista, es meramente “textual” y pretende asimismo que de esta manera está disuelta la dicotomía mente-cuerpo, ¿cómo entonces resulta nómada? Lo nómada, como categoría de análisis, se adapta más a una concepción tipo Foucault, donde el sujeto es producido, a través de procesos de subjetivación, asiste a un devenir, cambia históricamente.

Cabe aclarar que dentro de esta última concepción, la personalidad, las emociones, etc., están ligadas al cuerpo, y lo más seguro es que no hace falta hacer la separación entre la mente y el cuerpo.

Sin embargo, la posición transhumanista, basada en un dualismo extremo, es finalmente monista, ya que considera que solo el pensamiento *per se*



© Javier Anzués Torres. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.

puede constituirse en un ser humano, ya transhumano (García Aguilar, 2008).

¿Podría la mente existir sin el cuerpo? Cuarto mito: El transhumanismo afirmando que pensar no es una actividad biológica.

CONCLUSIONES

Al plantear el transhumanismo del texto se representa la dimensión tangible del *cyborg*, solo está apostando por un reduccionismo, tal que la vida no podría considerarse como “naturaleza animada”, es decir, el humano definido como separación entre mente y cuerpo. Uno más de los mitos del transhumanismo radica en suponer que la conciencia, definida como información, es lo que queda y sintetiza una subjetividad sin necesidad de un cuerpo orgánico. El problema es que dicha “subjetividad informacional” requiere de un “receptáculo”, llámesele cuerpo *cyborg* o cualquier otro neologismo, ¿realmente es efectivo ese monismo, meramente informacional, con el que se pretende definir al ser posthumano?

El transhumanismo deja de lado la dimensión de la subjetividad planteada por Foucault y otros pensadores, en pos de apostar por una nueva ontología posthumana. El ser posthumano es más bien una condición ideal, un mito, ya que, en cierto sentido, debe entenderse más como una categoría de análisis que como un nuevo tipo de ser. Pareciera que el hecho de la evolución humana, concebida biológicamente, resulta abruptamente interrumpida por la intervención del factor tecnológico, sin considerar, de nuevo, que este obedece más a una cierta intencionalidad humana que a un verdadero devenir evolutivo.

¿Será que el *cyborg*, el posthumano, a la sazón del transhumanismo, es lo que nos espera? “La conquista final del Hombre ha resultado ser la abolición del Hombre” (C. S. Lewis).

REFERENCIAS

Aguilar García T (2008). *Ontología ciborg. El cuerpo en la nueva sociedad tecnológica*. Barcelona: Gedisa Editorial.



© **Javier Anzués Torres**. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.

Artmann S (2008). Biological Information. En Sarkar S, Plutynski A (Eds.), *A Companion to Philosophy of Biology* (pp 22-39). U.K.: Blackwell Publishing Ltd.

Bostrom N (2005). A History of Transhuman Thought. *Journal of Evolution and Technology* 1, 14:1-25.

Braidotti R (2015). *Lo Posthumano*. Barcelona: Gedisa Editorial.

Broncano F (2009). *La melancolía ciborg*. Barcelona: Herder.

Chomsky N y Foucault M (2006). *La naturaleza humana: justicia versus poder. Un debate*. Buenos Aires: Katz Editores.

Churchland PM (1999) *Materia y conciencia*. Barcelona: Gedisa Editorial.

Diéguez A (2017). *Transhumanismo*. Barcelona: Herder.

Foucault M (1990). *Tecnologías del yo*. Barcelona: Ediciones Paidós.

Foucault M (2003). *Historia de la sexualidad I*. México: Siglo XXI Editores.

Guerrero Mc Manus F (2015). Cuerpo cyborg ©. Explorando los horizontes filosóficos del organismo cibernético". *Protepsis. Revista de filosofía* 7, 8:20-45.

Gutting G (Ed.) (2003). *The Cambridge Companion to Foucault*. New York: Cambridge University Press.

Haraway D (1995). *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinención de la Naturaleza*. Madrid: Cátedra.

Le Blanc G (2008). *El pensamiento Foucault*. Buenos Aires: Amorrortu Editores.

Berg Olsen J K et al (Eds.) (2009). *A Companion to the Philosophy of Technology*. U.K.: Blackwell Publishing Ltd.

Rabossi E (1995). La tesis de la identidad mente-cuerpo. En Broncano F (Ed.), *La mente humana* (pp 17-42). Madrid: Editorial.

NOTAS

¹ Eduardo Rabossi menciona que el problema mente-cuerpo tiene tres aristas: 1) la naturaleza de los fenómenos mentales vs la naturaleza de los fenómenos corporales; 2) el estatus ontológico de los fenómenos mentales, en términos de si estos corresponden a fenómenos independientes de los fenómenos físicos y; 3) la posible relación entre los fenómenos mentales y los físicos, de si hay una relación causal entre ambos. Puede también verse Churchland (1999).

Gilberto Castrejón
CICATA, Unidad Legaria
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México
gcastrejon@ipn.mx

JAVIER Anzures Torres

Obra gráfica



Cuautla, Morelos. 8 de enero 1950, México.

Estudios: Maestría en Artes Visuales ENAP, UNAM.

43 exposiciones individuales, de las que destacan:

- 1977. *Tintas* en la Casa del Lago.
- 1984. *Las fachadas silenciosas*, Academia de San Carlos.
- 1985. *Fragmentos de una obsesión*, Museo Carrillo Gil.
- 1987. *Crónica en Blanco y negro*.
Galería del Auditorio Nacional.
- 1989. *Repeticiones*, Museo del Chopo.
- 1995. *Y Eva sigue en el paraíso*, Galería Zona.
- 2001. *Historias*, Galería de la UAM, Xochimilco.
- 2015. Galería Luis Nishizawa FAD.

Más de **100 exposiciones colectivas**, dentro y fuera del país, algunas son:

- 1983. Salón de Dibujo, Palacio de Bellas Artes.
Homenaje a Orozco, Palacio de Bellas Artes.
- 1985. *Confrontación 86*, Palacio de Bellas Artes.
- 1986. 3a. Bienal Rufino Tamayo.
- 1986. 2da. Bienal de Habana Cuba.
- 1989. Bienal Diego Rivera, Guanajuato, Gto.
- 1991. Bienal de Grabado en San Juan Puerto Rico.
- 1994. *5 visiones de la conquista*.
Galería M. and Granite, Nueva York, EUA.
- 1994. *El infierno*, Museo José Luis Cuevas.
- 1994. 2da. Bienal de Monterrey, Nuevo León.
- 1997. *Pintores de San Carlos*, Casa del Lago.
- 2001. *Los artistas del Universo del Búho*.
- 2003. *Borderlands*. Denver, Canadá.
- 2004. Bienal Rufino Tamayo, Museo Tamayo.
Killigmesoftly, Galería Ramis Barquet, New York, USA.

Ha realizado murales en los estados de San Luis Potosí, Veracruz, Hidalgo y en el Ciudad de México.

Premios obtenidos:

- 1983. **Adquisición**, Salón Nacional de Pintura, INBA D. F.
- 1988. **Mención Honorífica**, Salón Nacional de Dibujo, INBA. D. F.
- 1992. **Primer Premio**, Certamen Nacional de Pintura G. Gedovius, San Luis Potosí.
- 1995. **Mención Honorífica**, Primer certamen Los ferrocarriles y la pintura, Puebla.
- 1996. **Primer premio**, 1ra. Bienal de Pintura del Instituto Nacional de Nutrición Salvador Subirán, México D. F.
- 2007-2010. Becario del FONCA.

Docencia:

Maestro en el taller de investigación-producción (pintura) en el área de posgrado, plantel San Carlos, UNAM.

torres1at@hotmail.com

© **Javier Anzures Torres**. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.





© Javier Anzures Torres. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.



© Javier Anzures Torres. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.



© **Javier Anzués Torres**. Serie "Historias", tempera/papel, 57 x 78 cm, 2002.

Odontofobia: razones por las que se evita ir al dentista

Marine Ortiz Magdaleno

La consulta con el dentista normalmente no es una de las experiencias más agradables en la vida cotidiana; al contrario, acudimos específicamente cuando nos duele o se ha fracturado un diente, porque sufrimos de un trauma, rechinamos los dientes o tenemos la sensación de que nos truena la articulación temporomandibular. Tener una consulta dental puede posiblemente significar experimentar una sensación de ser sometido a una tortura: escuchar relatos de familiares y amigos de sus experiencias en sus tratamientos dentales explicando su nerviosismo, angustia y sudoración infunde miedo.

MOTIVOS POR LOS CUALES NO VAMOS AL DENTISTA

Las visitas al dentista generalmente se han relacionado con sufrimiento, con dolor, no solo porque el dolor dental es un tipo de dolor muy molesto, sino porque los tratamientos dentales han estado relacionados con experiencias dolorosas. Esta es la razón por la que muchos pacientes pueden padecer de una fobia al dentista conocida como odontofobia (Rowe, 2005). Se trata de una angustia y miedo irracional extremo por acudir al dentista; el paciente puede sufrir de crisis de ansiedad y angustia, tendiendo a anticipar consecuencias negativas sin que hayan ocurrido. Este trastorno afecta a un 15 % de la población (Figura 1). Una de las posibles causas

Tabla 1. Razones por las cuales se evita ir al dentista

Miedo a lo desconocido
Ansiedad
Por una experiencia previa desagradable
No tener dolor
Miedo a sufrir más dolor
Aguantarse el dolor
Tener buena higiene oral
Creer que es innecesario
Escuchar experiencias desagradables
No estar familiarizado con el profesional
Falta de recursos económicos
Altos costos de tratamientos dentales

de la odontofobia es generada en ocasiones por experiencias negativas y desagradables durante la infancia, lo que ocasiona que el cuidado dental pase a segundo plano. Hace años, los tratamientos eran muy agresivos e invasivos, en dientes con caries profundas se indicaba la extracción, sin la oportunidad de realizar un tratamiento conservador. La odontología actual busca preservar el mayor número de dientes en la cavidad oral, y la extracción dental es la última opción de tratamiento.

La primera visita dental suele ser la que más miedo produce en el paciente, indistintamente de que sea una visita en la que por lo general se realiza una historia clínica y una exploración clínica de la cavidad oral, para realizar un diagnóstico clínico, un plan de tratamiento y un presupuesto; consiste en identificar cuáles son las prioridades y el motivo de consulta por el que acude el paciente, entre los motivos por los que no se acude de manera regular al dentista están la incógnita del tratamiento dental que se realizará, el temor a una cirugía, el ruido generado por el uso de la pieza de mano de alta velocidad y los instrumentos rotatorios, la inyección

para aplicar la anestesia; todos son factores que generan miedo a lo desconocido y a sufrir más dolor dental, por lo que se ha descrito que el origen del miedo es multifactorial (Tabla 1).

Otro motivo es la creencia de que tener los dientes limpios por buenos hábitos de higiene oral y no padecer molestias o dolor dental significa que ya no es necesario realizar la visita al dentista de manera periódica. Mantener una buena higiene bucodental es indispensable para tener una buena salud, pero no es una razón para no acudir al dentista, ya que siempre será necesario realizar una limpieza profunda por el profesional de la salud.

Algunas dolencias dentales pueden ser imperceptibles para el paciente, por lo que no prevenirlas y no detectarlas a tiempo puede, en consecuencia, llevar a un tratamiento más invasivo, comprometiendo la salud bucodental y el bienestar en general.

El 90 % de la población mexicana padece de caries, de acuerdo con la información publicada por el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS, 2020). Las caries incipientes generalmente no ocasionan dolor por ser pequeñas pero, conforme progresa la infección cariosa, se aproxima al tejido pulpar generando la agudización del dolor ante cambios de temperatura (al ingerir bebidas calientes o frías) y en presencia de alimentos con un alto contenido de azúcar.

Estos carbohidratos se unen a las bacterias de la boca para generar ácidos. Los pacientes pueden sospechar que existe caries cuando hay dolor durante la masticación y a la presión, detectando orificios y decoloración en los dientes. Intentar soportar el dolor para no acudir al dentista es totalmente contraproducente, la automedicación con analgésicos y antiinflamatorios no beneficia el pronóstico del tratamiento dental, al contrario, complica el procedimiento dental, ya que el problema se aborda demasiado tarde y obliga a un tratamiento más complejo.

Pensar que es innecesaria la visita al dentista es un pensamiento erróneo. El desconocimiento de la necesidad de consultas preventivas es la razón por la cual no se acude al dentista de manera periódica, cada 6 meses o una vez al año.

En México, la cultura de la prevención dental es muy baja, por lo que las circunstancias que hemos expuesto dificultan la atención dental primaria. El costo de los tratamientos dentales también suele ser un motivo para no acudir al dentista; el gasto en la salud bucal no es una prioridad, sin embargo, la prevención sí puede evitar un tratamiento costoso.

¿CÓMO EVITAR EL MIEDO EN LA CONSULTA DENTAL?

Un ambiente favorable en el consultorio dental es indispensable para los pacientes con odontofobia: música relajante, olores agradables y colores cálidos forman un espacio armonioso. El dentista debe crear un vínculo con el paciente que transmita confianza y seguridad, con una comunicación directa para explicar detalladamente los pasos de los procedimientos que se realizan. Es importante aclarar todas las dudas que tenga el paciente con un vocabulario fácil de entender, y dar al paciente la confianza de realizar sus preguntas en cualquier momento. El uso de técnicas de relajación y respiración puede ayudar a disminuir el estrés, la tensión emocional y muscular por la odontofobia.

Se recomienda que el paciente que padece de odontofobia acuda a la consulta acompañado por una persona de su confianza que le transmita tranquilidad y seguridad. Es crucial que el paciente no sienta dolor durante los procedimientos, por lo que una correcta técnica anestésica es clave para que el paciente se sienta relajado durante el tratamiento.

La odontofobia también es común en niños, y es causada por una mala experiencia o heredada de los padres, que de manera inconsciente transmiten el miedo a sus hijos; es necesario hablarles a los niños con naturalidad y actitud positiva, explicando que las consultas con el dentista deben realizarse rutinariamente una o dos veces al año.

HERRAMIENTAS TECNOLÓGICAS PARA EL TRATAMIENTO DENTAL

La odontología del siglo XXI emplea herramientas tecnológicas que permiten lograr tratamientos dentales menos molestos, menos invasivos y acortan

el tiempo de consulta. En ocasiones, el solo mirar la aguja para la anestesia genera nerviosismo; habitualmente se adormece la zona con anestesia tópica en crema o aerosol con el fin de evitar la molestia que produce la aguja en los tejidos. La anestesia controlada por computadora permite controlar la velocidad y duración de la infiltración de la solución anestésica.

La técnica de sedación consciente logra relajar a los pacientes más ansiosos; se recomienda utilizarla en sujetos que serán sometidos a cirugía bucal (como la extracción de los terceros molares conocidos comúnmente como “muelas del juicio”). La cirugía para la colocación de implantes dentales guiada por ordenador permite un tratamiento conservador sin necesidad de realizar una incisión para levantar la encía, ya que con la guía quirúrgica solo se perfora en el lugar específico para colocar el implante. Simplificar el tratamiento quirúrgico permite una recuperación postoperatoria menos dolorosa y más rápida.

El uso de una cámara intraoral permite que el paciente observe en una pantalla las condiciones en las que se encuentran sus dientes, mientras el dentista le explica los tratamientos que deberá realizar. El radiovisógrafo permite obtener en segundos las radiografías dentales para observar el nivel de hueso, las raíces, si existe una lesión periapical, etcétera. El escáner intraoral evita hacer la toma de impresiones de las arcadas maxilares y mandibulares, por lo que ya no es necesario usar los moldes con el material de impresión en la boca, que en ocasiones generan náuseas. En los tratamientos endodónticos, que consisten en eliminar el tejido pulpar (el nervio del diente), el uso del microscopio aumenta la visibilidad, causa menor molestia y acorta los tiempos de trabajo.

CONCLUSIONES

Existen motivos por los que no se acude al dentista de manera periódica, y es necesario identificarlos para resolver los problemas que ocasionan.



© Javier Anzures Torres. Serie "Historias", tempera/papel amate, 57 x 78 cm, 2002.

Evitar las visitas al dentista no genera un beneficio y sí puede ocasionar tratamientos más complejos, por lo que la prevención es clave para realizar un tratamiento dental conservador. El dentista debe de estar capacitado para la identificación y manejo temprano de pacientes con odontofobia; es aconsejable utilizar diferentes técnicas de relajación y herramientas tecnológicas, así como brindar una consulta más relajada para enfrentar este problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Rowe M (2005). Dental fear: comparisons between younger and older adults. *American Journal of Health Studies* 20:219-225.
- Caycedo C, Cortés OF, Gama R, Rodríguez H, Colorado P, Caycedo M, Barahona G y Palencia R (2008). Ansiedad al tratamiento odontológico: Características y diferencias de género. *Suma Psicológica* 15:259-278.
- Lin CS, Wu SY and Yi CA (2017). Association between anxiety and pain in dental treatment: A systematic review and Meta-analysis. *Journal of Dental Research* 96:153-162.
- Armfield JM and Heaton LJ (2013). Management of fear and anxiety in the dental clinic: a review. *Australian Dental Journal* 58:390-407.
- Al-Harasi S, Ashley PF, Moles DR, Parekh S and Walters V (2017). WITHDRAWN: Hypnosis for children undergoing dental treatment. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 6:CD007154.
- Dadalti MT, Cunha AJ, Souza TG, Silva BA, Luiz RR and Risso PA (2021). Anxiety about dental treatment - a gender issue. *Acta Odontológica Latinoamericana* 34:195-200.
- Gatchel RJ (1992). Managing anxiety and pain during dental treatment. *Journal of the American Dental Association* 123:37-41.
- De Stefano R (2019). Psychological Factors in Dental Patient Care: Odontophobia. *Medicina* (Kaunas) 55:678.
- IMSS (2020). Comunicado <http://www.imss.gob.mx/prensa/archivo/202002/069>, revisado en junio del 2022.

Marine Ortiz Magdaleno
Laboratorio de Ciencias Básicas
Facultad de Estomatología
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
San Luis Potosí, México
marine.ortiz@uaslp.mx

La naturaleza del óxido nítrico y sus acciones

Ma. del Carmen **González Castillo**
Guillermo **Salazar Martínez**
Aída J. **Velarde Salcedo**

La historia del descubrimiento del óxido nítrico (NO) es fascinante, ya que se ha usado en diversos compuestos desde hace siglos. Hoy en día se sabe que, debido a sus propiedades fisicoquímicas, este gas posee innumerables atributos y su producción responde a diferentes condiciones, tanto en los organismos como fuera de ellos.

El oxígeno y el nitrógeno se pueden combinar en diferentes proporciones para formar varias moléculas, algunas de las cuales tienen implicaciones en el medio ambiente. Podemos decir que los óxidos de nitrógeno de mayor interés como contaminantes en la calidad del aire son el NO y el dióxido de nitrógeno (NO₂). El NO₂ es un gas pardo-rojizo, no inflamable, de olor asfixiante y tóxico. Su principal fuente son los procesos de combustión a altas temperaturas, debido a la combinación del oxígeno y el nitrógeno presentes en el aire, combinación que da lugar a NO mismo que, posteriormente, por la acción de oxidantes atmosféricos como el ozono, se convierte en NO₂. En las ciudades, la gran cantidad de vehículos constituye la principal fuente de producción de NO₂ y ocasiona daños a la salud que afectan principalmente al aparato respiratorio.

El NO (o monóxido de nitrógeno) es un gas incoloro e inodoro que consta de un solo átomo de oxígeno y un átomo de nitrógeno. Su punto de ebullición es de -151-7 °C.

Es una molécula con carácter apolar, con una solubilidad en agua similar a la del O_2 . El NO se considera una molécula inestable puesto que contiene un número impar de electrones (radical libre), por lo que reacciona fácilmente con el oxígeno del ambiente o con otras moléculas.

El NO tiene un amplio espectro de acción y se ha encontrado en numerosos organismos tales como las esponjas, los insectos, las ranas y hasta en las plantas. Su vida media y su acción biológica son muy cortas, ya que es rápidamente oxidado a iones más estables como el nitrito (NO_2^-) y el nitrato (NO_3^-). La cantidad de NO producida está estrechamente relacionada con algunos eventos biológicos como el choque séptico y otras respuestas asociadas con infecciones, la reacción contra injertos de tejido, el cáncer, la función cardíaca y la presión arterial.

El NO ejerce sus efectos en los sistemas biológicos a través de acciones sobre la membrana celular, el citoplasma y el núcleo de las células. La citotoxicidad del NO está relacionada con su autooxidación y la combinación con superóxidos, lo que produce otros radicales libres de oxígeno que tienen la capacidad de lesionar a las células. Además, el NO, en función de su concentración, puede generar eventos de protección y regulación, como el control de la presión arterial, la formación de nuevos capilares sanguíneos, la modulación del crecimiento celular, o inducir la producción de otras moléculas como factores de crecimiento.

Por lo anterior y debido a la gama de acciones duales que posee esta molécula, es importante conocer su historia y el proceso de su descubrimiento, hasta llegar a ser el importante biomarcador en sistemas biológicos que es considerado hoy.

HISTORIA

El NO fue producido por primera vez en laboratorio como una entidad gaseosa por Joseph Priestley en 1772. Al calentar el nitrato amonio en presencia de limaduras de hierro en un recipiente de vidrio se desprendió un gas (NO) que fue filtrado a través

de agua para eliminar los subproductos tóxicos. El hidróxido de hierro precipitaba al fondo del recipiente, y se obtenía como producto principal el óxido nitroso en forma de gas. Priestley, sin darse cuenta, sintetizó por primera vez el NO en el laboratorio, hecho que pasó inadvertido hasta muchos años después.

En 1846, en Turín, en el pleno auge de la síntesis química, Ascanio Sobrero añadió glicerina a una mezcla de ácido nítrico, sintetizando así, por primera vez, la nitroglicerina explosiva. En esa misma época, Alfred Nobel, discípulo de Sobrero, mostró gran interés en la fabricación y uso seguro de la nitroglicerina, que era muy inestable, ya que su hermano había muerto en una explosión en 1864. Nobel observó que al incorporar sílice a la nitroglicerina la hacía más segura y fácil de manipular. Tras pruebas exitosas, patentó su creación en 1867 bajo el nombre de "dinamita". Esto le dio gran fama a Nobel, ya que su invento empezó a utilizarse con mayor frecuencia para la construcción y minería, pero también como arma poderosa en las guerras.

Unos años después, una serie de observaciones accidentales sugirieron que la nitroglicerina podía usarse en sistemas biológicos. William Murrell notó que ninguno de los trabajadores de una fábrica de nitroglicerina (propiedad de Alfred Nobel) padecían de hipertensión, hecho que lo llevó, en 1878, a tratar a pacientes hipertensos con dosis muy bajas de nitroglicerina. Murrell describió que la nitroglicerina aliviaba la angina de pecho y disminuía la presión arterial. En 1879 publicó las propiedades de este compuesto como agente vasodilatador y su uso médico. Años después, se encontró que el efecto vasodilatador de la nitroglicerina se debe a la liberación directa del NO en el organismo. A la fecha, la nitroglicerina se sigue usando en medicina en forma de parches adhesivos o vía sublingual (Marsh y Marsh, 2000).

El estudio de las propiedades vasodilatadoras tanto de la nitroglicerina como de otros derivados del NO (como el nitrato de amilo) continuó hasta el siglo XX con el hallazgo de efectos incluso negativos cuando se incrementaban las dosis o cuando se abusaba de estos compuestos.

	eNOS	nNOS	iNOS
Expresión	Constitutiva/Consistente	Constitutiva/Consistente	Inducible
Localización	Endotelio vascular	Sarcolema	Citoplasma de la mayoría de células
Activación	VEGF-A, ACh, hormonas	Receptores neuronales, hormonas	Citocinas
Función	Regulación del flujo sanguíneo, tono vascular, presión arterial	Neurotransmisor	Inmunoprotección

Tabla 1. Comparación entre eNOS, nNOS e iNOS.

Fue en la década de 1980 que se asoció el papel del NO a la reducción de la presión arterial posterior a la administración de la nitroglicerina y se pudo explicar el uso de este medicamento para el tratamiento de la angina de pecho. En 1980, Robert Furchgott investigó el papel de la acetilcolina, un potente vasodilatador, y descubrió que la relajación de los vasos sanguíneos solo se producía si estaba presente un tipo especializado de células que, en conjunto, forman el endotelio vascular.

Las células endoteliales recubren el interior de los vasos sanguíneos y están en contacto directo con la sangre. Sobre las células endoteliales hay otro tipo de células que conforman el músculo liso; la contracción y relajación de estas células musculares mantiene el tono vascular (proceso alternado de relajación y contracción). Furchgott y su grupo de investigación encontraron que, sin las células endoteliales, la acetilcolina no podía causar vasodilatación. Ante esta evidencia, surgió la idea de que había algún factor producido por las células endoteliales que era indispensable para llevar a cabo la relajación de los vasos sanguíneos. Este factor se denominó Factor Relajante Derivado del Endotelio, y con la suposición de que debía existir, se inició su búsqueda. Fue en el año 1986 cuando Ferid Murad encontró que el factor relajante era un compuesto nitrógeno. Las piezas del rompecabezas finalmente se integraron en 1987, cuando Louis Ignarro y Salvador Moncada demostraron que este componente clave era el NO. En ese mismo año John Hibbs propuso que el precursor del NO endógeno es el aminoácido arginina y que este se sintetiza por una vía enzimática. En 1988, John Gartwaite demostró que

las neuronas también producen NO, y más aún, que este actúa como neurotransmisor. En 1988, Palmer y Moncada descubrieron que la molécula que produce NO es una enzima a la que nombraron sintasa de óxido nítrico endotelial (eNOS), por su ubicación en el endotelio vascular. En ese mismo año se descubrió otra isoforma de la enzima que se denominó sintasa de óxido nítrico inducible (iNOS), porque su expresión se inducía o provocaba en presencia de factores que generaban daños a nivel celular (Tabla 1).

Las evidencias y las propiedades del NO endógeno llevaron a que en el año 1992 fuera reconocida como la “molécula del año” por la revista *Science*, y a que, por su papel en este descubrimiento, Furchgott, Murad e Ignarro fueron galardonados con el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en el año 1998 (Lancaster, 2017).

El descubrimiento del NO abrió una serie de investigaciones a nivel biológico y fisiopatológico relacionadas con el tratamiento de la hipertensión arterial, la disfunción eréctil, el síndrome de estrés respiratorio del adulto, la enfermedad de Alzheimer y la de Parkinson y en la prevención de la formación de coágulos sanguíneos.

EL NO EN LOS SERES VIVOS

La síntesis de NO es catalizada a partir de L-arginina por una familia de sintasas de óxido nítrico (NOS). La concentración de NO en el cuerpo puede variar desde el rango picomolar o nanomolar durante períodos cortos, hasta el rango micromolar en períodos prolongados.

Se ha evidenciado que concentraciones bajas de NO ejercen un efecto directo sobre procesos como la proliferación y supervivencia celular, mientras que concentraciones más altas tienen un efecto indirecto a través de estrés oxidativo y nitrosativo, la detención del ciclo celular, la apoptosis y la senescencia.

El NO, al ser un radical libre, reacciona con facilidad con moléculas como oxígeno, superóxido o metales, ácidos nucleicos y proteínas. Las principales reacciones que involucran al NO llevan a su rápida oxidación en metabolitos estables, como nitratos y nitritos. El efecto de la producción de NO sobre los procesos celulares también depende de la presencia de otros radicales libres. Los peroxinitritos generados a partir de la reacción con un superóxido pueden interactuar con varios componentes celulares y están implicados en los mecanismos de señalización del NO que involucran modificaciones de proteínas (Stuehr y Haque, 2019).

Existen tres tipos de enzimas que catalizan la síntesis del NO que, en función de su localización, promueven acciones específicas sobre tipos especializados de células y el microambiente en el que se encuentran:

- La NO neuronal (nNOS) están presente en neuronas específicas del cerebro. La actividad enzimática está regulada por el calcio y la calmodulina. La nNOS del cerebro se encuentra en forma soluble y dentro de vesículas intracelulares, y la localización subcelular diferencial de la nNOS puede contribuir a sus diversas funciones como un neurotransmisor y en la plasticidad neuronal asociada con la memoria a largo plazo (Arami *et al.*, 2017).

Sustancia	Modelo biológico	Efecto sobre la producción de NO	Referencias
Hormonas			
Vasoinhibina	Cultivo de células endoteliales y anillos aislados de aorta	Disminuye su producción al inhibir la activación de eNOS	González C <i>et al.</i> (2004).
Vasoinhibina	Líquido amniótico de mujeres embarazadas con preclampsia	Inhibe la actividad de eNOS y disminuye la proliferación celular	González C <i>et al.</i> (2007).
Hormona del crecimiento	Anillos aislados de aorta de rata	Incrementa su producción al activar eNOS	González C <i>et al.</i> (2015).
Lactógeno placentario	Anillos aislados de aorta de rata	Incrementa su producción al activar eNOS y producen vasodilatación	González C <i>et al.</i> (2008).
Prolactina	Anillos aislados de aorta de rata, corazones aislados y perfundidos de rata y cobayo	Incrementa su producción al activar eNOS y producen vasodilatación	De la Rosa AP <i>et al.</i> (2010).
Nutraceuticos			
Péptidos de amaranto	Anillos aislados de aorta de rata	Incrementa su producción al activar eNOS y producen vasodilatación	Estrada-Salas PA <i>et al.</i> (2014).
Péptidos de alpiste	Corazón aislado y perfundido de rata	Incrementan la producción de NO e inducen relajación de vasos coronarios	Rosas-Hernández H <i>et al.</i> (2009).
Nanomateriales			
Nanopartículas de plata de 45 nm	Anillos aislados de tráquea de rata	Incrementan la producción de NO, lo que promueve una hiperreactividad del músculo liso	Ramírez-Lee MA <i>et al.</i> (2014).
Nanopartículas de plata de 57 nm	Anillos aislados de tráquea de rata	Inducen citotoxicidad y efectos antiproliferativos mediante la activación de iNOS	Ramírez-Lee MA <i>et al.</i> (2018).
Nanopartículas de plata de 15 nm	Corazón aislado y perfundido de ratas hipertensas	Activan iNOS como parte de un proceso inflamatorio, disminuyen la expresión y actividad de eNOS	Ramírez-Lee MA <i>et al.</i> (2018).

Tabla 2. Efectos de moléculas endógenas y exógenas sobre la regulación de la producción del NO.

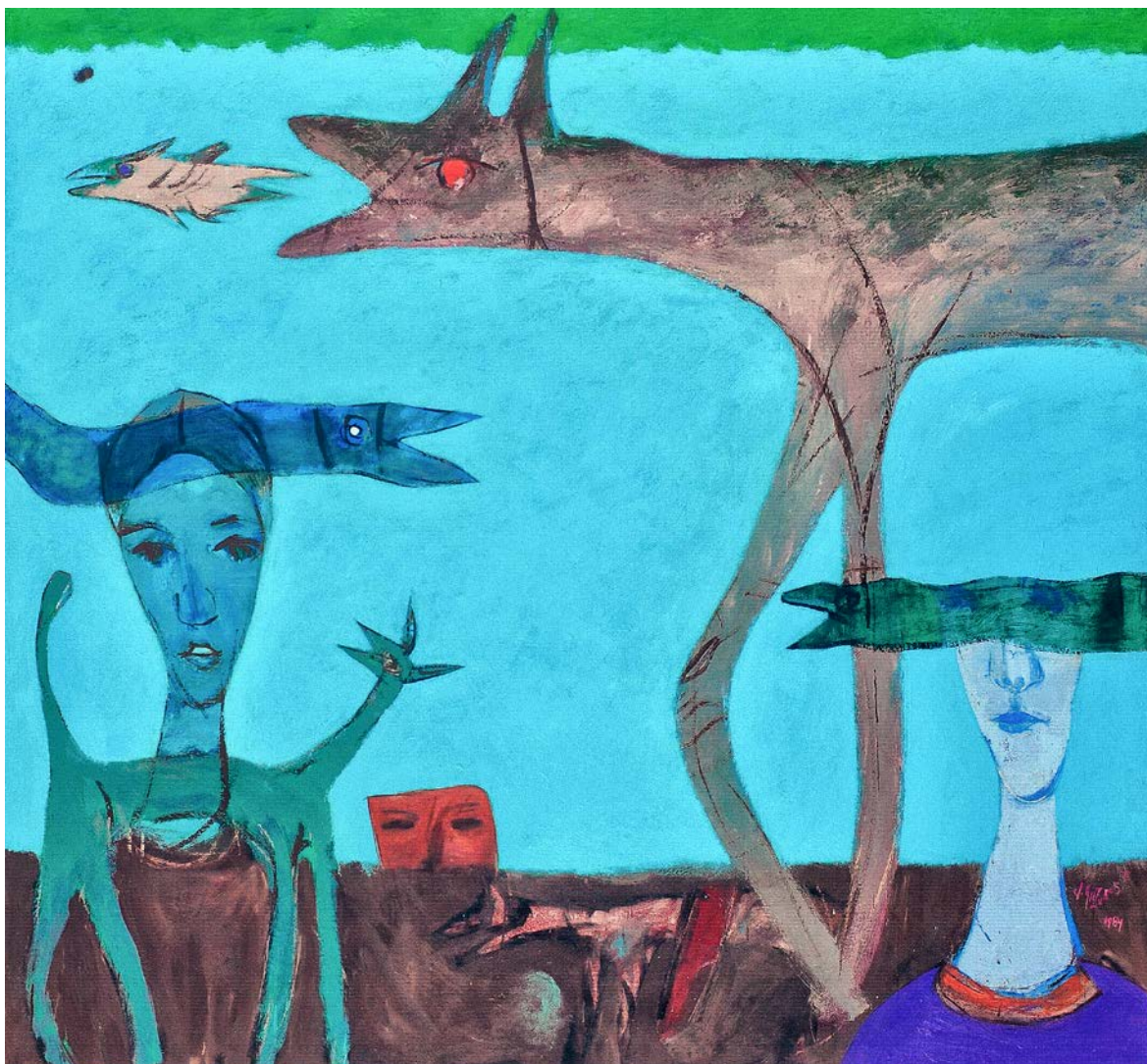


© Javier Anzures Torres. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 130 x 160 cm, 1985.

- La NOS endotelial se expresa principalmente en células endoteliales. Sin embargo, la isoenzima también se ha detectado en células cardíacas, plaquetas, ciertas neuronas del cerebro, en células de la placenta humana y en células epiteliales de riñón. Al igual que la nNOS, esta enzima es activada por la calmodulina y el calcio. La eNOS sintetiza NO de manera pulsátil y su actividad aumenta notablemente cuando aumenta el calcio intracelular, en procesos usualmente relacionados con la tonicidad muscular (García y Sessa, 2019).
- La NOS inducible no suele encontrarse en las células, pero su expresión puede ser estimulada por lipopolisacáridos bacterianos, citocinas y otros agentes. Aunque se identifica principalmente en macrófagos, la expresión de la enzima se puede estimular en prácticamente cualquier célula o tejido, siempre y cuando se encuentren los agentes inductores apropiados.

Una vez expresada, la iNOS está constantemente activa y no está regulada por las concentraciones intracelulares de calcio.

La iNOS permite que las células liberen NO en respuesta a citocinas, por lo que puede mediar algunos de los efectos citotóxicos y citostáticos del sistema inmunitario. Aunque se ha descrito que la actividad citotóxica del NO por sí misma es débil, esta molécula reacciona con aniones superóxido producidos por macrófagos activados, lo cual genera peróxidos de nitritos que, a su vez, causan daño al tejido. Varios estudios han demostrado la sobreexpresión de iNOS en enfermedades inflamatorias crónicas (esclerosis múltiple, enfermedad inflamatoria intestinal, cirrosis primaria biliar, hepatitis autoinmunitaria, etc.), así como en diversos tumores (cáncer de ovario, mama, estómago y tiroides) en



© Javier Anzués Torres. Serie "Fragmentos de una obsesión", óleo/tela, 140 x 160 cm, 1984.

los que participan procesos clave como la angiogénesis y la apoptosis (Cinelli *et al.*, 2020).

NO EN EL MEDIO AMBIENTE

Como se mencionó anteriormente, en la atmósfera están presentes los óxidos de nitrógeno. Estos son contaminantes que deterioran la calidad del aire. A partir del NO y NO₂ se forma en la atmósfera el ácido nítrico, que es absorbido por las gotas de agua y se precipita en forma de lluvia ácida.

Este es el más importante por sus efectos sobre la salud humana. Los óxidos de nitrógeno junto con

los compuestos orgánicos volátiles son los principales precursores del ozono troposférico. Entre los posibles daños a la salud que pueden causar estos gases están los que afectan al aparato respiratorio provocando neumonía y bronquitis, así como una menor resistencia a las infecciones de las vías respiratorias. Bajos niveles de óxidos de nitrógeno en el aire pueden irritar los ojos, la nariz, la garganta, los pulmones y causar tos y una sensación de falta de aliento, cansancio y náusea. Respirar altos niveles de óxidos de nitrógeno puede producir quemaduras, espasmos en las vías respiratorias superiores, reducir la oxigenación de los tejidos del cuerpo y producir acumulación de líquido en los pulmones que puede llevar a la muerte.

ESTUDIOS DEL NO

Debido a las amplias acciones del NO a nivel celular, tisular y orgánico, se ha considerado como un biomarcador, tanto en condiciones normales como patológicas, en función del tipo de estímulo que origine su liberación y las consecuentes acciones desencadenadas por agentes endógenos (hormonas) o exógenos (como derivados de productos naturales y derivados tecnológicos del tipo de los nanomateriales). En diversos modelos experimentales hemos evaluado las circunstancias en que el NO es producido, tanto en bajas como en altas concentraciones, pero también hemos podido identificar a través de herramientas farmacológicas y moleculares, la expresión selectiva de las isoformas de las NOS que lo producen, y si están asociadas o no con la generación de radicales libres o con mecanismos antioxidantes (Tabla 2).

CONCLUSIONES

La producción del NO es estimulada por una gran variedad de factores que pueden generar efectos tanto protectores como citotóxicos, cuyas acciones dependen de la cantidad en la que se generen y su temporalidad. Estas acciones pueden ser moduladas

por factores endógenos y otras sustancias vasoactivas destinadas a mantener el equilibrio y la protección del organismo cuando este sufre algún tipo de agresión ocasionada por microorganismos, agentes físicos o contaminantes que alteran el equilibrio orgánico. Es importante saber cómo el NO, una molécula tan pequeña y con una permanencia tan breve en el organismo, puede desplegar una versatilidad de acciones como mediador celular, biomarcador, contaminante del medio ambiente, explosivo o medicamento y que, gracias a las investigaciones en curso en las diferentes áreas de la biomedicina, toxicología y fisiología, seguirá dando mucho de qué hablar tanto en la ciencia básica como en la clínica.

REFERENCIAS

- Arami KM, Jameie B and Moosavi SA (2017). Neuronal nitric oxide synthase. En Saeedi Sravi SS (Ed.), *Nitric Oxide Synthase-Simple Enzyme-Complex Roles* (pp. 2-21). IntechOpen Limited, Reino Unido.
- Cinelli MA, Do HT, Miley GP and Silverman RB (2020). Inducible nitric oxide synthase: Regulation, structure, and inhibition. *Medicinal Research Reviews* 40(1):158-189.
- García V and Sessa WC (2019). Endothelial NOS: perspective and recent developments. *British Journal of Pharmacology* 176(2):189-96.
- González C, Corbacho AM, Eiserich JP, García C, Lopez-Barrera F, Morales-Tlalpan V, Barajas-Espinosa A, Díaz-Muñoz M, Rubio R, Lin SH, Martínez de la Escalera G and Clapp C (2004). 16K-prolactin



© Javier Anzures Torres. *La estrella desapareció*, óleo/tela, 140 x 140 cm, 1992.



© Javier Anzures Torres. *Por la mañana*, óleo/tela, 150 x 150 cm, 1987.



© **Javier Anzués Torres**. *La noticia llegó puntual*, óleo/tela, 140 x 120 cm, 1984.

inhibits activation of endothelial nitric oxide synthase, intracellular calcium mobilization, and endothelium-dependent vasorelaxation. *Endocrinology* 145(12):5714-5722. <https://doi.org/10.1210/en.2004-0647>.

González C, Parra A, Ramírez-Peredo J, García C, Rivera JC, Macotela Y, Aranda J, Lemini M, Arias J, Ibarguengoitia F, de la Escalera GM and Clapp C (2007). Elevated vasoinhibins may contribute to endothelial cell dysfunction and low birth weight in preeclampsia. Laboratory investigation. *A journal of technical methods and pathology* 87(10):1009-1017. <https://doi.org/10.1038/labinvest.3700662>.

González C, Rosas-Hernández H, Jurado-Manzano B, Ramírez-Lee MA, Salazar-García S, Martínez-Cuevas PP, Velarde-Salcedo AJ, Morales-Loredo H, Espinosa-Tanguma R, Ali SF and Rubio R (2015). The prolactin family hormones regulate vascular tone through NO and prostacyclin production in isolated rat aortic rings. *Acta pharmacologica Sinica* 36(5):572-586. <https://doi.org/10.1038/aps.2014.159>.

González C, Lemini M, García C, Ramiro-Díaz JM, Castillo J, Rubio R and Clapp C (2008). Effects of prolactin and vasoinhibins on nitric oxide synthase activity in coronary endothelial cells and vessels in isolated perfused guinea pig hearts. *Toxicology Letters* 180:S34. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2008.06.655>.

De la Rosa AP, Montoya AB, Martínez-Cuevas P, Hernández-Le-desma B, León-Galván MF, De León-Rodríguez A and González C (2010). Tryptic amaranth glutelin digests induce endothelial nitric oxide production through inhibition of ACE: antihypertensive role of amaranth peptides. *Nitric oxide: biology and chemistry* 23(2):106-111. <https://doi.org/10.1016/j.niox.2010.04.006>.

Estrada-Salas PA, Montero-Morán GM, Martínez-Cuevas PP, González C and Barba de la Rosa AP (2014). Characterization of anti-diabetic and antihypertensive properties of canary seed (*Phalaris canariensis* L.) peptides. *Journal of agricultural and food chemistry* 62(2):427-433. <https://doi.org/10.1021/jf404539y>.

Ramírez-Lee MA, Aguirre-Bañuelos P, Martínez-Cuevas PP, Espinosa-Tanguma R, Chi-Ahumada E, Martínez-Castañón GA and González C (2018). Evaluation of cardiovascular responses to silver nanoparticles (AgNPs) in spontaneously hypertensive rats. *Nano-medicine: nanotechnology, biology and medicine* 14(2):385-395. <https://doi.org/10.1016/j.nano.2017.11.013>.

Ramírez-Lee MA, Rosas-Hernández H, Salazar-García S, Gutiérrez-Hernández JM, Espinosa-Tanguma R, González FJ, Ali SF and González C (2014). Silver nanoparticles induce anti-proliferative effects on airway smooth muscle cells. Role of nitric oxide and muscarinic receptor signaling pathway. *Toxicology letters* 224(2):246-256. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2013.10.027>.

Rosas-Hernández H, Jiménez-Badillo S, Martínez-Cuevas PP, Gracia-Espino E, Terrones H, Terrones M, Hussain SM, Ali SF and González C (2009). Effects of 45-nm silver nanoparticles on coronary endothelial cells and isolated rat aortic rings. *Toxicology letters* 191 (2-3):305-313. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2009.09.014>.

Lancaster JR (2017). A concise history of the discovery of mamalian nitric oxide (Nitrogen Monoxide) Biogenesis. En Ignarro LJ y Freeman BA (Eds.), *Nitric Oxide: Biology and Pathobiology* (pp. 1-7). Elsevier Inc, Países Bajos.

Marsh N and Marsh A (2000). A short history of nitroglycerine and nitric oxide in pharmacology and physiology. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology* 27(4):313-319.

Stuehr DJ and Haque MM (2019). Nitric oxide synthase enzymology in the 20 years after the Nobel Prize. *British Journal of Pharmacology* 176(2):177-188.

Ma. del Carmen González Castillo

Guillermo Salazar Martínez

Aída J. Velarde Salcedo

Laboratorio de Fisiología Celular

Facultad de Ciencias Químicas

Universidad Autónoma de San Luis Potosí

gonzalez.castillocarmen@uaslp.mx

El síndrome del corazón roto

Teresa B. Mares Barbosa
Diana P. Portales Pérez
Ana M. Estrada Sánchez

En 1991, el médico Hikaru Sato observó que algunos de sus pacientes japoneses presentaban dolor y presión en el pecho, dificultad para respirar y mareos; síntomas que por su similitud indicaban riesgo de infarto agudo de miocardio.

Sin embargo, al realizar una evaluación más minuciosa, el doctor Sato observó que durante la contracción ventricular del corazón (denominada sístole), el ventrículo izquierdo presentaba una reducción en la fuerza de contracción reduciendo el volumen sanguíneo bombeado a la circulación sistémica. Por lo tanto, los pacientes presentaban una afección que no se había descrito anteriormente y que Sato denominó “síndrome de corazón roto” o miocardiopatía de takotsubo, debido a que el corazón presentaba una morfología semejante a un recipiente utilizado por la población japonesa para pescar pulpos, conocido como takotsubo, que se caracteriza por tener un cuello angosto y una base ancha, cualidades que impiden que el pulpo escape (Koulouris *et al.*, 2010). La miocardiopatía de takotsubo, también se conoce como miocardiopatía por estrés, síndrome de balonamiento apical o miocardio cardiogénico impresionante.

El nombre de síndrome de corazón roto hace alusión a los factores que lo desencadenan, como estrés físico o emocional. Sin embargo, el síndrome puede desarrollarse por otros factores como la epilepsia, el consumo

de opiáceos, la ansiedad o la presencia de un feocromocitoma o, incluso, ejercicio extenuante (Boyd y Solh, 2020; Zvonarev, 2019).

La prevalencia de la miocardiopatía de takotsu-bo a nivel mundial es de aproximadamente del 2 % (Zvonarev, 2019), y entre 85 a 89.8 % son mujeres con edades de 65 a 70 años. En México se desconoce la prevalencia de este padecimiento. Sin embargo, después del terremoto de 2017 en la Ciudad de México, se reportaron algunos casos (Fernández-Ferreira *et al.*, 2018).

FISIOPATOLOGÍA

El corazón bombea sangre a todo el organismo por medio de la función coordinada de las cuatro cámaras que lo conforman: dos aurículas y dos ventrículos. La aurícula derecha recibe la sangre desoxigenada proveniente de los tejidos, misma que pasa por la válvula tricúspide al ventrículo derecho que bombea la sangre al circuito pulmonar donde será oxigenada. Al salir del circuito pulmonar, la sangre entra a la aurícula izquierda para llegar al ventrículo del mismo lado a través de la válvula mitral; la contracción del ventrículo izquierdo bombeará la sangre a la circulación sistémica a través de la aorta.

La actividad del corazón está regulada por el sistema nervioso autónomo que controla el circuito eléctrico que orchestra la contracción progresiva de las diferentes regiones del corazón.

El inicio de la señal eléctrica ocurre en el nodo sinusal, ubicado en la aurícula derecha; esta señal se desplaza posteriormente al nodo auriculoventricular y a la musculatura de las aurículas para producir la contracción. El impulso eléctrico pasa a través del haz de His a lo largo de la separación de los ventrículos para desplazarse en las ramas de Purkinje, ubicadas en ambos ventrículos; esta actividad eléctrica produce finalmente la contracción ventricular (Figura 1).

Durante el síndrome del corazón roto, el ventrículo izquierdo presenta una contracción deficiente

provocando una reducción del 20 % al 49 % de la eyección del volumen sanguíneo (Zvonarev, 2019).

De acuerdo con las anomalías presentes en la pared del ventrículo izquierdo, el síndrome de corazón roto se clasifica en cuatro tipos:

1. Tipo clásico, presenta balonamiento apical.
2. Tipo inverso, se manifiesta con aumento en la contracción en la parte apical y ausencia de movimiento en la base del corazón.
3. Tipo medio ventricular, presenta ausencia de movimiento en la parte media de la pared del ventrículo sin afectar la base o el ápice.
4. Tipo localizado, en el que ocurre abombamiento que, además, sucede con la disfunción del ventrículo izquierdo (Zvonarev, 2019). Aun cuando la disfunción en la contracción del ventrículo izquierdo es transitoria, la falta de tratamiento oportuno puede culminar en una insuficiencia cardíaca aguda (Zvonarev, 2019).

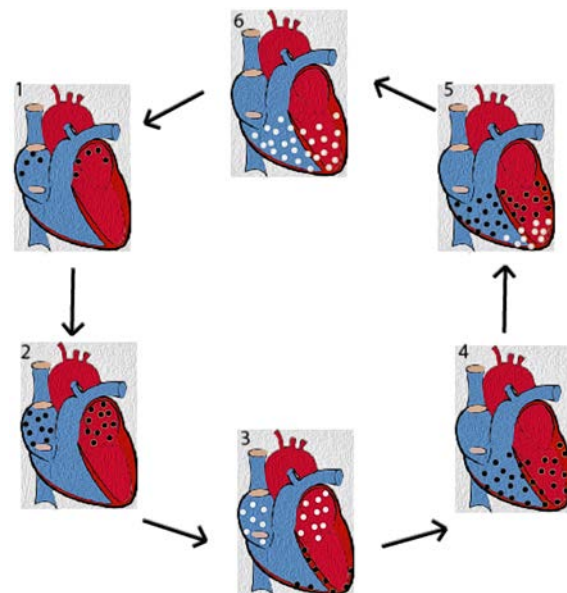


Figura 1. Circuito eléctrico del corazón. En el paso número 1, se representa la contracción auricular (puntos negros) iniciada en el nodo sinusal, ubicado en la aurícula derecha. En el número 2, se observa la despolarización auricular completa y el desplazamiento de la señal eléctrica al nodo auriculoventricular y a la musculatura de las aurículas para producir la contracción auricular. Posteriormente (3), se observa la contracción ventricular iniciada en el ápice del corazón, y una relajación auricular (puntos blancos). En el número 4, se representa la contracción ventricular completa, efecto ocasionado por el paso de la señal eléctrica a través del haz de His a lo largo de la separación de los ventrículos, actividad que se desplaza en las ramas del sistema de Purkinje ubicadas en ambos ventrículos. En el número 5, observamos el inicio de la relajación ventricular en el ápice del corazón, culminando en el número 6 con la relajación ventricular completa.

PATOGÉNESIS

Actualmente se desconoce el origen del síndrome de corazón roto. Sin embargo, considerando que se desencadena por un factor estresante físico o emocional, es posible que la liberación de adrenalina por la glándula adrenal y la noradrenalina contribuyan al desarrollo de este síndrome (Williams *et al.*, 2016).

Un factor estresante intenso activa al sistema nervioso simpático (que controla las reacciones y complejos viscerales) y al eje hipotálamo-pituitaria-adrenal, aumentando la liberación de dopamina y noradrenalina en el *locus coeruleus*. Este núcleo cerebral está relacionado con las respuestas fisiológicas de estrés y miedo e induce la liberación de la hormona corticotropina en el hipotálamo (Zvonarev, 2019).

Esta hormona determina el aumento de cortisol, hormona asociada con el estrés. En pacientes que presentan el síndrome de corazón roto, la respuesta de cortisol no es la adecuada, por lo tanto, los niveles de esta hormona son menores, lo cual favorece el desarrollo de daño en el tejido cardíaco producido por el efecto de adrenalina y noradrenalina.

En una situación de estrés se activa la amígdala, núcleo del sistema límbico del cerebro involucrado en la respuesta “luchar y huir”, que participa en la activación del sistema nervioso simpático. El aumento en la actividad de este núcleo correlaciona con la probabilidad de padecer una enfermedad cardiovascular (Templin *et al.*, 2019). En un estudio realizado en una población con riesgo alto de padecer cáncer, se observó un aumento en la actividad de la amígdala asociado al riesgo de presentar miocardiopatía de takotsubo (Radfar *et al.*, 2021).

En estudios con modelos animales, la administración intravenosa de adrenalina y noradrenalina aumentó la presión sanguínea arterial cuando el corazón se relaja entre latidos (presión diastólica) y cuando el corazón se contrae (presión sistólica). También se observó una disminución aguda transitoria de la contracción del ventrículo izquierdo.

El síndrome de corazón roto tiene una comorbilidad con depresión del 20.5 % al 48 %, y con ansiedad del 26 % al 56 %. Además, los pacientes con desórdenes emocionales pueden experimentar una

respuesta exacerbada a noradrenalina y, por tanto, una alta actividad cardíaca (Williams *et al.*, 2016).

Por otro lado, la miocardiopatía de takotsubo afecta más a mujeres (en proporción 1:9). Principalmente, a aquellas que se encuentran en postmenopausia, por lo que la disminución en los niveles de estrógeno puede ser un factor importante (Williams *et al.*, 2016). La ausencia de estrógeno se asocia a daño en la microvasculatura coronaria y a un aumento del tono simpático, mecanismo que interviene en el inicio y en el mantenimiento del aumento de la presión arterial. Además, pacientes con síndrome de balonamiento apical que se encuentran en postmenopausia, presentan vasoconstricción, daño al endotelio y aumento de la activación simpática (Martin *et al.*, 2010).

CRITERIOS DE DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO

El diagnóstico de la miocardiopatía de takotsubo se realiza a través de la evaluación de la actividad eléctrica del corazón por un electrocardiograma (Figura 2A). En este, la onda P representa la despolarización de las aurículas y, por lo tanto, la contracción auricular que inicia en el nodo sinoauricular; al concluir esta onda, el retraso del impulso nervioso en el nodo auriculoventricular genera un segmento entre la onda P y el complejo QRS. Este complejo representa la despolarización o contracción ventricular, que comienza en el vértice del corazón. Al finalizar la despolarización, ocurre la repolarización (relajación) ventricular en el vértice del corazón, representada por la onda T. El patrón de actividad se divide en intervalo QT que comienza con el complejo QRS y culmina con la onda T (este intervalo es afectado por la frecuencia cardíaca) y el segmento ST, que representa el tiempo de la contracción y relajación ventricular.

Durante la miocardiopatía de takotsubo, el electrocardiograma presenta una elevación prominente del segmento ST que indica el tiempo entre la contracción y la relajación ventricular, y la onda T se encuentra invertida. Por otro lado, se puede presentar una prolongación del intervalo QT (Figura 2B). Además de los cambios en el electrocardiograma,

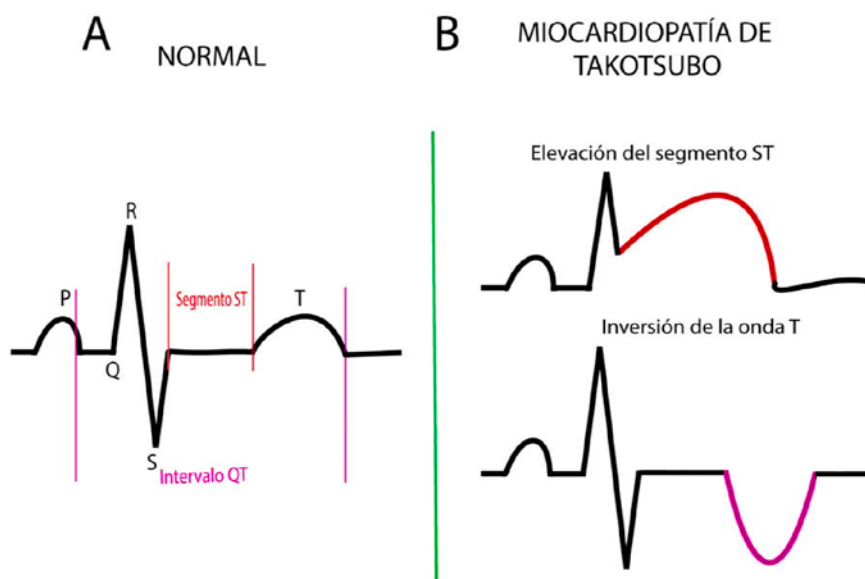


Figura 2. Electrocardiograma. (A) La onda P representa la contracción auricular, que comienza en el nodo sinoauricular; el espacio entre la onda P y el intervalo QRS ocurre por el retraso del impulso nervioso en el nodo auriculoventricular. El complejo QRS se origina por la despolarización ventricular que comienza en el vértice del corazón; una vez completada esta despolarización comienza la relajación ventricular en el vértice del corazón, ilustrada por la onda T. El intervalo QT comienza con el complejo QRS y culmina con la onda T, y el segmento ST representa el tiempo de la contracción y la relajación ventricular. (B) Representación de la elevación del segmento ST y la inversión de la onda T, características presentes en el síndrome de corazón roto.

los pacientes pueden presentar aumento de marcadores cardíacos en sangre como la troponina y el péptido natriurético tipo B (Zvonarev, 2019).

Los cambios morfológicos en el ventrículo izquierdo que caracterizan al síndrome de corazón roto pueden observarse en una ecocardiografía, un ultrasonido del corazón, una imagen de resonancia magnética o una ventriculografía con contraste. En esta última, se administra un radioisótopo en la circulación venosa, y con ayuda de una radiografía especial se observa cómo se contrae el corazón. Además, para el diagnóstico de la miocardiopatía de takotsubo, la Clínica Mayo estableció los siguientes criterios (Medina de Chazal *et al.*, 2016):

- Alteración, disminución o pérdida transitoria de los movimientos de los segmentos medios del ventrículo izquierdo, con o sin compromiso apical.
- Ausencia de enfermedad coronaria obstructiva o evidencia angiográfica de rotura aguda de placa.
- Presencia de anomalías electrocardiográficas, elevación del segmento ST o inversión de la onda T, elevación moderada de troponina cardíaca.
- Ausencia de feocromocitoma y miocarditis.

La terapia farmacológica incluye diuréticos, inhibidores de la enzima convertidora de angiotensina y beta bloqueadores (Medina de Chazal *et al.*, 2016). La mortalidad del síndrome de corazón roto es aproximadamente del 5 %. En la mayoría de los casos se tiene una recuperación total, pero aproximadamente el 20 % de los pacientes llegan a presentar una falla cardíaca (Zvonarev, 2019) o complicaciones como congestión pulmonar e hipotensión.

CONCLUSIONES

El síndrome de corazón roto o miocardiopatía de takotsubo es una disfunción de la contracción del ventrículo izquierdo que conduce a una reducción de la cantidad de sangre oxigenada en la circulación sistémica; esta patología es transitoria y de buen pronóstico. Actualmente, no se comprende completamente su patogénesis, pero evidencias experimentales indican la participación de los receptores beta adrenérgicos y la disminución de cortisol. Sin embargo, el síndrome de corazón roto puede ser desencadenado por un factor de estrés físico o emocional, y se presenta en las mujeres después de la menopausia, lo que sugiere



© Javier Anzués Torres. *Otra vez llegué tarde*,
acrílico/tela, 100 x 100 cm, 1981.



© Javier Anzués Torres. *¿Cuál será?*,
acrílico/tela, 100 x 100 cm, 1981.

un papel importante de los estrógenos, hormonas que participan en el mantenimiento de la microvasculatura cardíaca.

Se desconoce la prevalencia de la miocardiopatía de takotsubo en México. Sin embargo, la pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2 generó un cambio de vida a nivel mundial, en el cual, el trabajo en casa, el aislamiento social, la pérdida de empleo, el deceso de amigos y familiares, entre otros factores, afectaron la salud emocional de la población, pero también ha brindado una oportunidad para el estudio de la fisiología y la patología del síndrome de corazón roto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo otorgado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) FOSEC SEP-INVESTIGACIÓN BÁSICA A1-S-26479 y el apoyo "International Society for Neurochemistry-CATEGORY 1C: Return Home" otorgados a AMES. Además de la beca doctoral otorgada por CONACYT a TBMB (714872).

REFERENCIAS

- Boyd B and Solh T (2020). Takotsubo cardiomyopathy: Review of broken heart syndrome. *Journal of the American Academy of PAs* 33(3):24-29. DOI: [10.1097/01.JAA.0000654368.35241.fc](https://doi.org/10.1097/01.JAA.0000654368.35241.fc).
- Fernández-Ferreira R, Morales-Victorino N, Herrera- Gomar M, Alcántara-Meléndez MA, García- Graullera M, González-Chon O and García-López SM (2018). Stress induced cardiomyopathy due to a Mexican earthquake. *Archivos de Cardiología de México* 88(3):219-224.
- Koulouris S, Pastromas S, Sakellariou D, Kratimenos T, Piperopoulos P and Manolis AS (2010). Takotsubo Cardiomyopathy: The "Broken Heart" Syndrome. *Hellenic Journal of Cardiology* 51:451-457.
- Martin EA, Prasad A, Rihal CS, Lerman LO and Lerman A (2010). Endothelial Function and Vascular Response to Mental Stress Are Impaired in Patients with Apical Ballooning Syndrome. *Journal of the American College of Cardiology* 56(22):1840-1846.
- Medina de Chazal H, Del Bueno MG, Kayser-Marcus L, Ma L, Moeller FG, Berrocal D and Abbate A (2018). A Stress Cardiomyopathy Diagnosis and Treatment. *Journal of the American College of Cardiology* 72(16):1955-1971. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.07.072>.
- Radfar A, Abohashem S, Osborne MT, Wang Y, Dar T, Hassan MZO, Ghoneem A, Naddaf N, Patrich T, Abbasi T, Zureigat H, Jaffer J, Ghazi



© **Javier Anzués Torres**. *Mis cosas favoritas*, acrílico/tela, 120 x 100 cm, 1981.

P, Scott JA, Shin LM, Pitman RK, Neilan TG, Wood MJ and Tawakol A (2021). Stress- associates with the risk for and timing of subsequent Takotsubo syndrome. *European Heart Journal* 42:1898-1908.

Templin C, Hänggi J, Klein C, Topka MS, Hiestand T, Levinson R, Jurisic S, Lüscher TF, Ghadri JR and Jäncke L (2019). Altered limbic and autonomic processing supports brain-heart axis in Takotsubo syndrome. *European Heart Journal* 40:1183-1187.

Williams R, Arri S and Prasad A (2016). Current Concepts in the Pathogenesis of Takotsubo Syndrome. *Heart Failure Clinics* 12:473-484.

Zvonarev V (2019) Takotsubo Cardiomyopathy: Medical and Psychiatric Aspects. Role of Psychotropic Medications in the Treatment of Adults with "Broken Heart" Syndrome. *Cureus* 11(7):e5177.

Teresa B. Mares Barbosa
Centro de Investigación en Ciencias
de la Salud y Biomedicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí
Instituto Potosino de Investigación
Científica y Tecnológica, San Luis Potosí

Diana P. Portales Pérez
Centro de Investigación en Ciencias
de la Salud y Biomedicina
Universidad Autónoma de San Luis Potosí

Ana M. Estrada Sánchez
Instituto Potosino de Investigación
Científica y Tecnológica, San Luis Potosí
ana.estrada@ipicyt.edu.mx

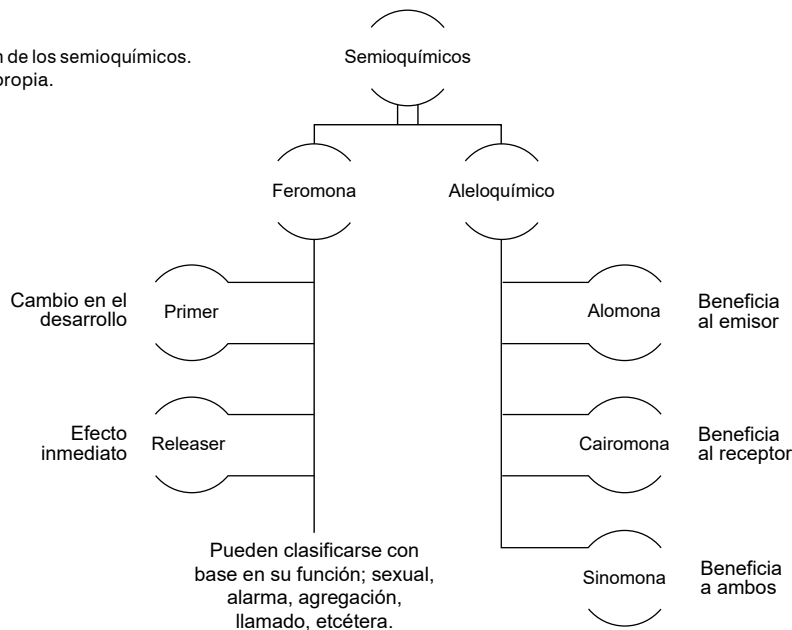
Semioquímicos, ¿compuestos clave para monitorear y controlar a las chinches chagásicas?

David **Alavez-Rosas**
Alejandro **Córdoba-Aguilar**
Leopoldo **Cruz-López**

Todos los organismos usamos señales químicas para transmitir información; estos “lenguajes químicos” son las formas más antiguas de comunicación. Existe una rama de la ciencia, llamada ecología química, que se ocupa de la identificación y síntesis de las sustancias que transportan información (semioquímicos), así como de los mecanismos de percepción de los organismos y de las consecuencias ecológicas, conductuales y de desarrollo que generan estos compuestos en los seres vivos.

La comunicación química se entiende como los mecanismos que ayudan en el control de las interacciones intra e interespecíficas de los seres vivos mediante el uso de sustancias químicas. Hay tres elementos en esta interacción: un emisor, una señal y un receptor. Las señales químicas a menudo se denominan semioquímicos (del griego *semeion* = señal), y están divididos en feromonas (actúan entre miembros de la misma especie) y aleloquímicos (actúan entre diferentes especies). Las feromonas se dividen en feromonas *primer*, las cuales causan un cambio en el desarrollo y, eventualmente, en el comportamiento del receptor, y feromonas *releaser*, que inducen un cambio inmediato en el comportamiento del receptor.

Figura 1. Clasificación de los semioquímicos.
Imagen de creación propia.



Suelen clasificarse de acuerdo con su función: rastro, agregación, sexual y alarma. Por su parte, los aleloquímicos se dividen en: alomonas (compuestos que benefician al emisor), kairomonas (benefician al receptor), y sinomonas (benefician a ambos) (Figura 1).

¿QUÉ SON LAS CHINCHES CHAGÁSICAS Y POR QUÉ NOS INTERESA CONTROLARLAS?

Las chinches chagásicas, o triatominos (Triatominae), son insectos que conforman una subfamilia de Reduviidae (Hemiptera, Heteroptera), que se caracteriza por alimentarse de sangre. El ciclo de vida está compuesto por huevos, cinco estadios ninfales, y adultos (macho y hembra); todos sus integrantes ocupan el mismo hábitat y se alimentan de los mismos huéspedes que los adultos. Estos insectos ocupan una amplia variedad de ambientes, tanto domésticos, como peridomésticos y selváticos, en áreas tropicales, subtropicales y templadas. Durante el día, la chinche permanece escondida dentro de refugios (grietas, hendiduras, etc.) donde encuentra protección, compañía y condiciones favorables de humedad y temperatura para su reproducción.

Durante la noche, sale en busca de alimento (sangre) (Córdoba-Aguilar 2020).

Muchas especies de triatominos son consideradas como potenciales transmisores del parásito *Trypanosoma cruzi*, el cual causa la enfermedad de Chagas, un mal que afecta a cerca de 8 millones de personas en América Latina. Esta enfermedad ha sido clasificada por la Organización Mundial de la Salud como una enfermedad desatendida, para la que no existe vacuna y, si no se detecta a tiempo, no existe tratamiento. La medida más efectiva para controlarla hasta el momento ha sido limitar la interacción del humano con la chinche por medio de insecticidas. Las chinches funcionan como un vector del parásito, mismo que se aloja en las heces del insecto. Usualmente, cuando una chinche se alimenta de un ser humano (succiona la sangre de su víctima), al mismo tiempo deposita heces cerca del sitio donde picó. Las personas al rascarse el área afectada, introducen las heces (que llevan el parásito) dentro de la herida; de esta manera, *T. cruzi* entra al organismo (Lazzari, 2021).

CHINCHES Y SEMIOQUÍMICOS, ¿QUÉ TIENEN QUE VER?

Prácticamente los triatominos en todos los aspectos básicos de su vida se comunican a través de

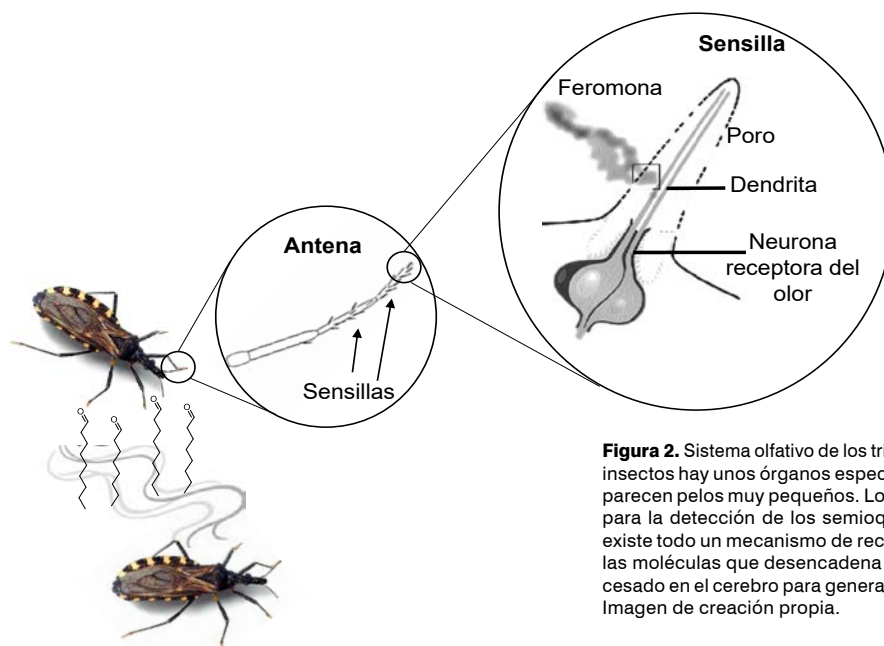


Figura 2. Sistema olfativo de los triatominos. En las antenas de estos insectos hay unos órganos especializados llamados sensillas, que parecen pelos muy pequeños. Los triatominos utilizan las sensillas para la detección de los semioquímicos. Dentro de las sensillas existe todo un mecanismo de reconocimiento y procesamiento de las moléculas que desencadena un impulso nervioso que es procesado en el cerebro para generar una respuesta comportamental. Imagen de creación propia.

semioquímicos al buscar refugio y alimento, en el apareamiento, en situaciones de alarma y peligro. Estos semioquímicos son emitidos por glándulas especializadas (que poseen la mayoría de los triatominos) que se encuentran desarrolladas en los adultos. Las glándulas más estudiadas son las glándulas de Brindley (GB) y las metaesternales (GMs). Las GMs emiten compuestos que regulan el comportamiento sexual, mientras que las GBs emiten compuestos que median el comportamiento de alarma/defensa (Lopes *et al.*, 2020). Adicionalmente, los triatominos pueden discriminar a individuos de su misma especie, o de otra, por medio de hidrocarburos cuticulares. De la misma manera, utilizando semioquímicos pueden distinguir a sus fuentes de alimento (hospederos). Para detectar estas sustancias, las chinches utilizan sus antenas, las cuales poseen unos diminutos órganos especializados llamados sensillas; podríamos decir que las chinches huelen con las antenas (Figura 2) (Barrozo *et al.*, 2017).

Feromona sexual

Las hembras, generalmente, emiten una feromona sexual de las glándulas metasternales (GMs) que es utilizada por los machos para localizarlas. Aunque desde hace décadas se ha tenido evidencia de la existencia de feromonas sexuales en especies de

triatominos, no se ha determinado con exactitud un compuesto o mezcla que funcione como feromona para ninguna especie. Los compuestos encontrados han sido en su mayoría compuestos volátiles oxigenados, como cetonas y alcoholes. Aunque no se han realizado estudios del efecto de los compuestos quirales en el comportamiento de las chinches, se debe resaltar la existencia de este tipo de moléculas. Por ejemplo, *Triatoma infestans* y *T. brasiliensis* producen los diastereoisómeros (4R, 5R) y (4S, 5S) del 2,2,4-trietil-5-metil-1,3-dioxolano como unos de los más abundantes

Feromona de alarma

Al enfrentarse a una perturbación, los triatominos adultos de ambos sexos liberan un olor penetrante que funciona como feromona de alarma, este olor es emitido por las GBs.

Se han identificado compuestos volátiles cuando se genera una agitación mecánica sobre los insectos, los cuales provocan un incremento en la locomoción de insectos de la misma especie y una respuesta de escape. La feromona es una combinación de volátiles que varía de acuerdo con la especie, la mayoría de ellos son ácidos carboxílicos.

El principal componente de la feromona es el ácido isobutírico (May-Concha *et al.*, 2013).

Feromona de agregación

Desde el siglo pasado se ha especulado que la feromona de agregación de los triatomíneos se encuentra en las heces. Hasta la fecha, se han identificado algunos aldehídos de cadena corta (heptanal, octanal, nonanal y decanal), así como hidrocarburos ligeros (dodecano y tridecano). Adicionalmente, en *Triatoma pallidipennis*, se han encontrado diferentes clases de compuestos polares (aminoácidos y derivados de ellos) en las heces de los triatomíneos, lo cual fundamenta la idea de que este tipo de compuestos pueda tener relevancia biológica. Sin embargo, aún no ha sido posible la identificación total de una feromona de agregación.

Hidrocarburos cuticulares (HCCs)

Como en la mayoría de los insectos, en los triatomíneos, los HCCs tienen la función de proteger de la desecación, sirven como barrera para evitar la entrada de microorganismos y participan en la comunicación química. Aunque no se ha establecido un papel definido para los HCCs en la comunicación química de los triatomíneos, se ha observado que el perfil de compuestos es diferente entre especies. Los HCCs de las ninfas son diferentes a los de los adultos. No hay diferencias entre sexos en los adultos. Algunos estudios hechos con *T. infestans* indican que los HCCs promueven la agregación y la detención de la locomoción de las chinches, además de que incitan a los machos a copular. Por otra parte, estos compuestos son muy útiles en la quimiota-xonomía (clasificación de organismos de acuerdo con las diferencias y similitudes en sus composiciones químicas), ya que han sido útiles para confirmar la existencia de 3 subespecies de *T. dimidiata*.

Búsqueda de alimento (sangre)

Históricamente, la búsqueda del hospedero en triatomíneos había sido menos estudiada que otras conductas. Sin embargo, en años recientes, se han obtenido

muchos datos que han permitido entender un poco mejor la química de este proceso. Los triatomíneos adquieren y hacen uso de información química para encontrar alimento (sangre). Compuestos como el dióxido de carbono (CO₂) y el amoníaco, provenientes del aliento humano, son atractivos para las chinches. Algunos compuestos encontrados como atractivos para *T. infestans* son heptanal, octanal, nonanal y ácido isobutírico, provenientes de lana de oveja, plumas de pollo y pelo de conejo. Algunas aminas volátiles presentes como productos de desecho de los vertebrados son atractivas para muchas especies de chinches. Se demostró que el isómero L del ácido láctico incrementa el efecto atractivo del CO₂, mientras que el isómero D no tiene actividad biológica, hallazgo que resalta la importancia de los compuestos quirales en la atracción de estos insectos

¿CÓMO SE DESCIFRA ESTE LENGUAJE?

Los métodos tradicionales para el estudio de la comunicación química de las chinches chagásicas incluyen ensayos de comportamiento que utilizan extractos de insectos completos, sus glándulas o compuestos sintéticos para modular el comportamiento de los insectos. Los métodos de extracción son muy variados; los insectos pueden ser macerados en algún disolvente, o colocados en un aparato de destilación.

© Javier Anzures Torres. Serie "Teléfonos", tinta/papel, 15 x 26 cm, 1979.





© Javier Anzures Torres. Serie "Teléfonos", tinta/papel, 17 x 28 cm, 1979.

También existen técnicas que permiten coleccionar compuestos volátiles mediante corrientes de aire (aireación dinámica) o de manera estática (microextracción en fase sólida). En ecología química, usualmente se obtienen mezclas complejas de muchos compuestos con una amplia variedad de grupos funcionales.

Como lo usual es analizar mezclas, primero se deben separar en sus compuestos individuales y, posteriormente, debe identificarse cada uno de ellos. Los semioquímicos se caracterizan y aíslan utilizando métodos de análisis químico. Para la separación de compuestos, los más habituales son la cromatografía líquida de alta resolución y la cromatografía de gases. Mientras que, para la identificación, se utilizan técnicas como espectrometría de masas, la espectrometría infrarroja o la resonancia magnética nuclear. Debido a las cantidades tan pequeñas (en el orden de nanogramos) y a la naturaleza química de los compuestos (en su mayoría volátiles), se emplean métodos de separación e identificación acoplados. Las más usadas son cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas y cromatografía de líquidos acoplada a espectrometría de masas.

A nivel neurofisiológico, la quimiorrecepción de insectos se ha estudiado durante décadas registrando la actividad de antenas completas de insectos

(electroantenografía) o de neuronas individuales (registro de células individuales). Aunque existe una técnica que consiste en un cromatógrafo de gases acoplado a un detector electroantenográfico. Este último utiliza las antenas de los insectos como detectores biológicos, lo cual facilita enormemente la identificación de los compuestos activos de mezclas complejas.

La investigación de semioquímicos en triatomíneos implica un enorme esfuerzo y técnicas exigentes, no solo para el aislamiento y la identificación de los compuestos químicos, sino también para el reconocimiento de sustancias conductualmente activas. Una vez que se ha identificado a los compuestos que ejercen actividad neurofisiológica, se evalúan en bioensayos. La finalidad de estos experimentos es demostrar la actividad biológica que ejercen los semioquímicos sobre los insectos.

En un sentido amplio, los términos "bioensayo" o "ensayo biológico" se refieren a procedimientos para la determinación de la relación entre un agente fisiológicamente activo y el efecto que produce en un organismo vivo. Un bioensayo es la medición de la potencia de cualquier estímulo (físico, químico, biológico, fisiológico o psicológico) por medio

de las reacciones que produce en la materia viva. Los ensayos para demostrar la actividad conductual son esenciales para determinar que un compuesto es una semioquímico (o un componente de él). Por lo tanto, los bioensayos son una herramienta muy valiosa para deducir la función comunicativa (alarma, agregación, sexual, repelencia, etc.) de una sustancia química. También pueden dar información acerca de los mecanismos que son utilizados por los insectos para responder a moverse hacia o lejos de la fuente química (Cruz-López *et al.*, 2001).

APLICACIÓN EN TRAMPAS Y CEBOS (TÉCNICA PUSH PULL)

Se han utilizado trampas cebadas con compuestos identificados en las heces de triatominos, con resultados buenos en la captura de especímenes. El compuesto más usado como atrayente en trampas ha sido el CO₂. Sin embargo, también se han utilizado en trampas, con buenos resultados en laboratorio, cebos libres de CO₂. Para la vigilancia postcontrol de *Triatoma sordida* y *T. infestans* se han empleado hexanal, octanal y nonanal, semioquímicos reportados para chinches. Uno de los problemas que ha tenido el control de chinches usando insecticidas ha sido la agregación de las chinches en refugios. Esto genera que el insecticida no llegue en dosis efectivas a las chinches. Una manera de solucionar este problema es combinar la aplicación del insecticida con una sustancia que haga que las chinches abandonen sus refugios. Los compuestos provenientes de las GBs han sido utilizados como “agentes desalojantes” en el control de las chinches.

CONCLUSIÓN Y PERSPECTIVAS

La aplicación de semioquímicos es una excelente opción para el control de triatominos. Con el conocimiento generado hasta el día de hoy, se han utilizado diversas técnicas que han resultado ser útiles para evitar la interacción entre seres humanos y chinches. Cabe resaltar que, comparadas con el uso de insecticidas, estas técnicas son más amigables con el ambiente.

A pesar de los esfuerzos realizados, aún hay mucho por hacer; por ejemplo, incorporar nuevas técnicas de biología molecular en el estudio de la ecología química de las chinches y profundizar en la neurofisiología del insecto. Continuar con el estudio de la ecología química de los triatominos permitirá entender su comportamiento y las interacciones entre su misma especie, con sus hospederos y con el medio en que se desarrollan, lo que posteriormente servirá para desarrollar métodos efectivos para el manejo y control de sus poblaciones. Hasta el momento, el conocimiento es abundante para algunas especies, pero es escaso para otras. Por lo tanto, este es un campo que aún necesita crecer. Por todo lo anterior, pensamos que los semioquímicos involucrados en la comunicación de las chinches chagásicas son compuestos potenciales para la vigilancia y control de estas especies.

R E F E R E N C I A S

- Barrozo R, Reisenman C, Guerenstein P, Lazzari C and Lorenzo M (2017). An inside look at the sensory biology of triatomines. *Journal of Insect Physiology* 97:3-19.
- Córdoba-Aguilar A (2020). Chagas bugs and *Trypanosoma cruzi*: Puppets and puppeteer? *Acta Tropica* 211:105600.
- Cruz-López L, Malo E, Rojas J and Morgan E (2001). Chemical ecology of triatomine bugs: Vectors of Chagas disease. *Medical and Veterinary Entomology* 15:351-357.
- Lazzari C (2021). The behaviour of kissing bugs. En Guarneri A, Lorenzo M (Eds.), *The biology of Chagas disease vectors* (pp 215-238). Springer Cham, Suiza.
- Lopes R, Santos-Mallet J, Barbosa CF, Gomes S and Spiegel C (2020). Morphological and ultrastructural analysis of an important place of sexual communication of *Rhodnius prolixus* (Heteroptera : Reduviidae): the metasternal glands. *Tissue and Cell* 67:1-7.
- May-Concha I, Rojas J, Cruz-López L, Millar J and Ramsey J (2013). Volatile compounds emitted by *Triatoma dimidiata*, a vector of Chagas disease: chemical analysis and behavioural evaluation. *Medical and Veterinary Entomology* 27:165-174.

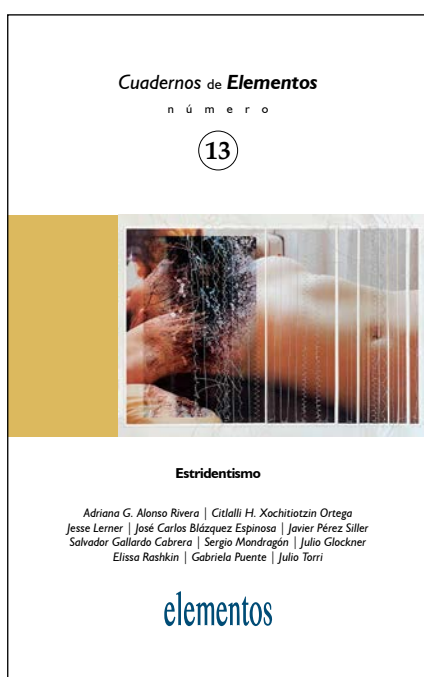
David Alavez Rosas
Instituto de Ecología, UNAM
alavezd@yahoo.com

Alejandro Córdoba-Aguilar
Instituto de Ecología, UNAM
acordoba@ecologia.unam.mx

Leopoldo Cruz-López
El Colegio de la Frontera Sur
lcruz@ecosur.mx

Cuaderno de *Elementos* número 13 Estridentismo

Coordinador: Julio **Glockner**

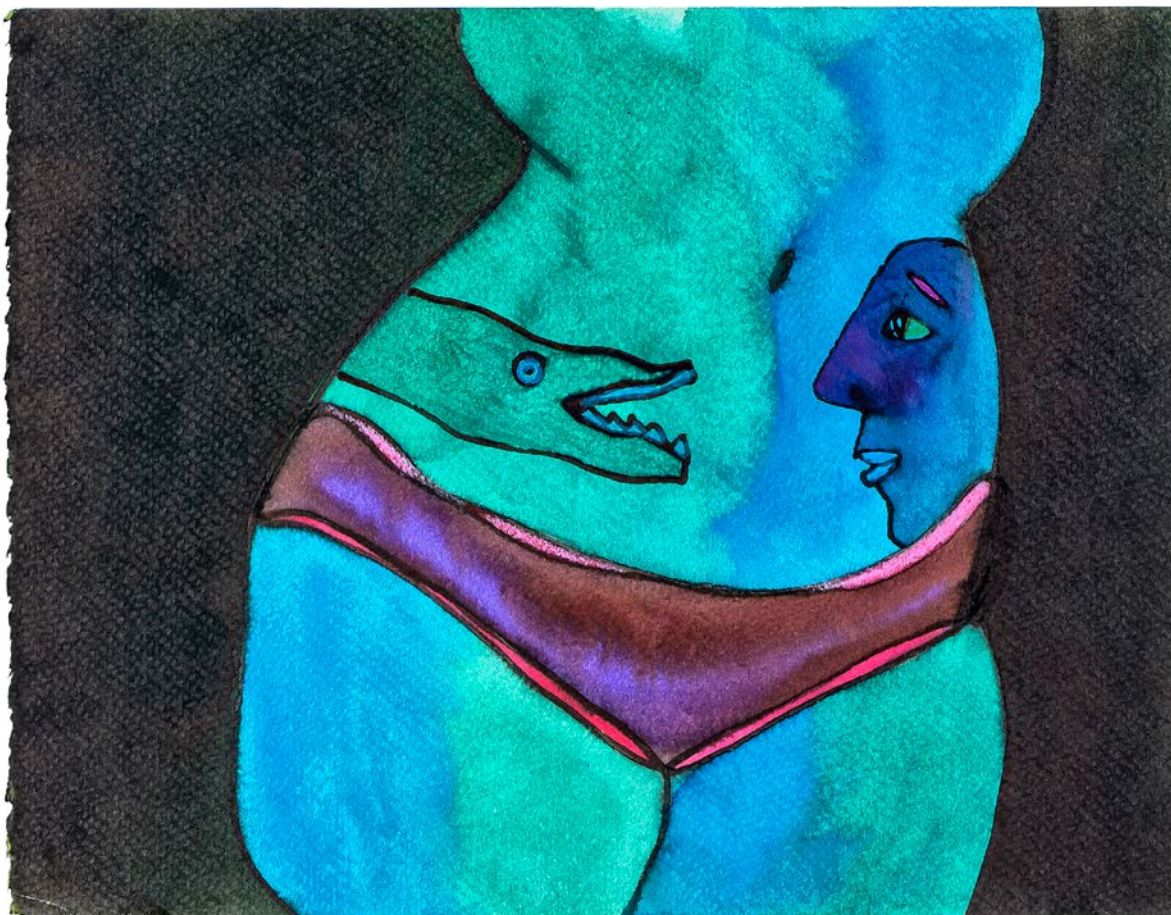


En diciembre de 1921, el poeta Manuel Maples Arce redacta el primer manifiesto denominado *Actual No. 1. Hoja de Vanguardia. Comprimido Estridentista de Manuel Maples Arce*. Es un llamado a la rebelión contra los convencionalismos estéticos y éticos en la literatura y las artes plásticas, una invitación a la juventud mexicana a ser irreverente, imaginativa y creativa.

El estridentismo es un juego inteligente e imaginativo inventado por poetas, escritores y pintores que se atrevieron a liberar su creatividad, andando más allá de los convencionalismos reinantes en la literatura, las artes plásticas y la moral pública. Julio Glockner, coordinador de este *Cuaderno de Elementos*, señala en su texto conmemorativo de los estridentistas: “el movimiento estridentista trató de ir más allá de los convencionalismos reinantes en la literatura, las artes plásticas y la moral pública”.

Lee Cuaderno de *Elementos* No. 13 en:

<https://elementos.buap.mx/directus/storage/uploads/00000008268.pdf>



© **Javier Anzures Torres**. Serie "Mujeres", tinta/papel, 16 x 24 cm, 1977.

Medicina personalizada y ciencia de datos.

El uso de analíticas de datos para la selección de tratamientos

Gustavo **Mendoza**
Josefa **Somodevilla**
Concepción **Pérez de Celis**

En los últimos años, el uso de las tecnologías de la información y comunicación ha incrementado los datos que se producen y almacenan a cada momento. La Inteligencia de Negocios (*Business Intelligence*) ha usado desde su origen información histórica para la toma de decisiones en las empresas, presentando respuestas a las preguntas ¿qué pasó?, ¿por qué pasó?, ¿qué pasará? y ¿qué decisión debe tomarse? Actualmente, este proceso se ha extrapolado hacia otras ramas de la ciencia, demostrando su relevancia y los beneficios que ofrece para la generación del conocimiento. ¿En qué consiste este proceso conocido como “ciencia de datos” y cómo se ha comenzado a aplicar en áreas como el cuidado de la salud, retomando la idea del paradigma de la medicina personalizada?

EL PARADIGMA DE LA MEDICINA PERSONALIZADA

Los términos Medicina Personalizada o Medicina de Precisión comúnmente son utilizados como sinónimos. Para la FDA (Food and Drug Administration), esta visión de la

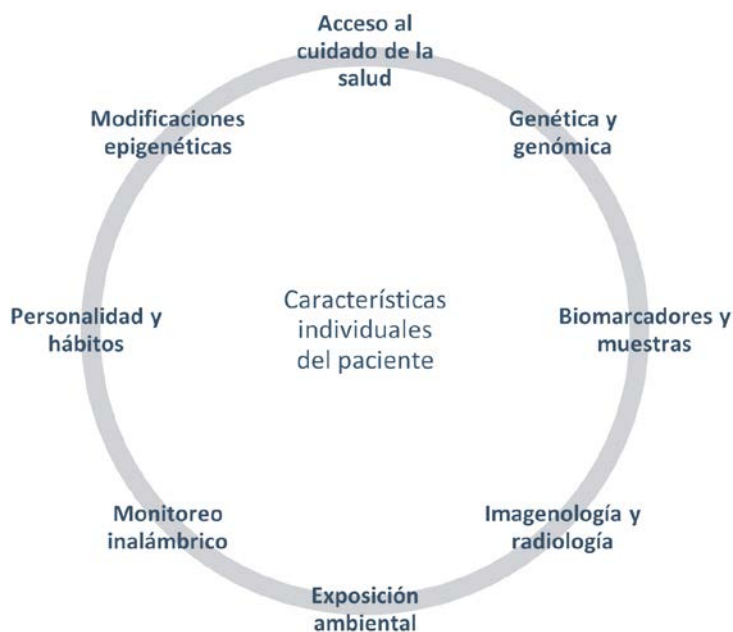


Figura 1. Información necesaria para una real implementación de la medicina personalizada. Fuente: Goetz y Schork, 2018.

medicina se basa en la premisa de proveer “al paciente adecuado: el medicamento correcto, en la dosis correcta, en el tiempo correcto” (Pirracchio *et al.*, 2019). Con los recientes descubrimientos acerca del genoma humano y la farmacogenética (una rama de la genética que estudia cómo la efectividad de los medicamentos es afectada por la variabilidad genética), la capacidad de almacenamiento de información en la nube y la capacidad de las computadoras actuales para procesar información, la idea de la medicina personalizada se vislumbra como el siguiente paso a dar en el cuidado de la salud.

Aunque pueda parecer una idea relativamente moderna, en realidad este paradigma fue propuesto hace más de un siglo por Archibald Garrod, un médico inglés que estudiaba algunas enfermedades raras como alcaptonuria, albinismo, cetonuria y pentosuria. Tras analizar sus resultados, Garrod concluyó que, al menos en el metabolismo, los seres humanos tenían una gran variabilidad y que esas diferencias en el metabolismo podrían ayudar a explicar evidentes diferencias entre individuos, así como en la susceptibilidad de los individuos a algunas enfermedades y en la manera como se

manifiestan (Goetz y Schork, 2018). De acuerdo con este paradigma, la información que debe ser recolectada y procesada para una implementación real de medicina personalizada, se presenta en la Figura 1.

El acceso al cuidado de la salud es importante, pues puede ser que el paciente no tenga acceso a especialistas o tecnología debido a razones geográficas o económicas y, por tanto, las intervenciones deben ser elaboradas tomando en cuenta esta limitación. La información genética hereditaria es útil en situaciones predictivas o de diagnóstico; sin embargo, cambios somáticos en el ADN pueden proveer información importante en procesos patogénicos.

Los biomarcadores y muestras son útiles para detectar cambios en la salud, aunados a la imagenología, la radiología y los datos que puedan recolectarse mediante dispositivos inalámbricos. La exposición ambiental, los hábitos y la personalidad realmente pueden impactar en los resultados de una intervención. Finalmente, las modificaciones epigenéticas (aquellas que cambian el funcionamiento de los genes sin cambiar la secuencia genética) también deben ser monitoreadas, pues pueden indicar un cambio en el estado de la salud.

Es evidente que los requerimientos de información son exigentes y su sola recolección significa ya un reto. Adicionalmente, representa un problema para los médicos el analizar y procesar en un tiempo eficiente toda esta información para un solo paciente. Es aquí donde el proceso de ciencia de datos puede utilizarse en busca de patrones y relaciones entre los datos que permitan a los profesionales de la salud tomar decisiones basadas en el contexto personal del paciente, reduciendo el riesgo de sesgos personales y experienciales.

Actualmente, existen algunos acercamientos hacia este paradigma dentro de la práctica médica; por ejemplo, algunos medicamentos como la warfarina (que se utiliza como anticoagulante) y el imatinib

(empleado en algunos tipos de cáncer) aparentemente solo funcionan (o no presentan efectos secundarios) en pacientes que poseen ciertos perfiles genéticos, lo que ha motivado el interés en identificar los factores genéticos que influyen en las respuestas individuales de los pacientes a diferentes fármacos e intervenciones. Estos acercamientos se han realizado en tres líneas principales de investigación:

- Terapias de mutación específica: el medicamento llamado ivacaftor es utilizado en casos de fibrosis quística en personas que tienen una mutación específica en el gen CTRF (Coalition, 2018). Otro ejemplo es el conjunto de tratamientos para cáncer llamado “inmunoterapias”. Este tipo de tratamientos apunta a utilizar el sistema inmunológico propio del paciente para atacar al cáncer mediante la utilización de células T modificadas para reconocer y atacar tumores con características genómicas específicas, llamadas “neoantígenos”. Aunque han demostrado tener buenos resultados, son tratamientos altamente personalizados pues, si el tumor no tiene la firma de neoantígenos correcta, entonces las células T no podrán afectarlo. Adicionalmente, no pueden utilizarse células T de otra persona, pues pueden tener un comportamiento agresivo (Farkona *et al.*, 2016).
- Estrategias de detección temprana personalizada: al tener disponible la información genómica de una persona, es posible identificar si tiene susceptibilidad de padecer alguna enfermedad, lo que permite establecer márgenes de referencia personalizados de indicadores específicos, en vez de los indicadores generales de la población.
- Prevención personalizada de enfermedades: el uso de la información genética puede ayudar también a prevenir ciertas enfermedades. Por ejemplo, el trabajo de Liao y su equipo reportó una mejora

en la supervivencia y un decremento en el riesgo de muerte de pacientes con cáncer colorrectal que tienen una mutación somática en el gen PIK3CA (Liao *et al.*, 2012). Sobre esta misma enfermedad, Nan y su equipo reportaron que el uso de aspirina puede reducir la posibilidad de desarrollar este tipo de cáncer en personas con un determinado genotipo (Nan *et al.*, 2015).

¿Cuándo debe personalizarse un tratamiento para un paciente?, la respuesta a esta pregunta no es tan simple como parece. Si se tiene acceso a la información necesaria del paciente, al conocimiento y a la capacidad de cómputo requerida para tomar las decisiones en un tiempo aceptable para el profesional de salud y el paciente, entonces la medicina personalizada debería ser el paradigma para utilizar en la práctica médica. Sin embargo, aún hay brechas importantes por cubrir.

EL PROCESO DE LA CIENCIA DE DATOS

Se le llama ciencia de datos al enfoque multidisciplinario utilizado para obtener indicadores (conocidos en inglés como *insights*) a partir de conjuntos de datos creados, almacenados y que crecen día con día (Poornima y Pushpalatha, 2020).

Este proceso está compuesto de cinco fases principales reconocidas, como se muestra en la Figura 2.

Si bien cada fase es importante y relevante dentro del proceso de ciencia de datos, para efectos de la obtención de indicadores se hará referencia solo a la fase del procesamiento de datos. Es en esta fase donde se aplican técnicas de *machine learning* (ML) sobre conjuntos de información para obtener indicadores significativos y relevantes acerca de los mismos. Se le llama analítica al conjunto de indicadores resultantes tras aplicar técnicas de ML con el

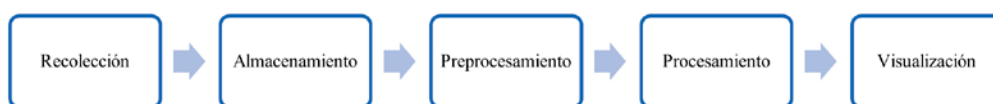


Figura 2. El proceso de ciencia de datos.

objetivo de analizar la información en un nivel específico de profundidad, y se clasifica de acuerdo con el grado de conocimiento que genera, como se muestra en la Figura 3.

En el nivel más bajo de analíticas se encuentran las descriptivas; estas trabajan sobre grandes cantidades de datos históricos para dar respuesta a la pregunta ¿qué pasó? y, en un grado de sofisticación más elevado, describen la causa del fenómeno si es que se llega al proceso de diagnóstico (¿por qué pasó?). Sus procesos son tomados principalmente de la estadística descriptiva y permiten obtener analíticas que servirán de base para el análisis predictivo.

En el siguiente nivel de analíticas, las predictivas toman el resultado de las analíticas descriptivas para construir un modelo que permita realizar predicciones que respondan a la pregunta ¿qué pasará? Los procesos utilizados en este nivel de análisis son variados, pues hay desde aplicaciones de la estadística inferencial, hasta procesos multidisciplinarios como las redes neuronales o la minería de datos. En el nivel más alto de analíticas se encuentran las prescriptivas, que toman los resultados de los procesos anteriores para enfocarse en la toma de decisiones, respondiendo a la pregunta ¿qué es lo que se debe hacer? Para esto, se basan en técnicas como la optimización, la simulación o la ciencia de redes para evaluar todos los posibles escenarios que el modelo predictivo permite construir, y justifican sus resultados considerando la incertidumbre.

Es en este nivel de análisis, el prescriptivo, donde la medicina personalizada se perfila como un campo de aplicación. Los datos históricos sobre los que deberá trabajar el proceso de ciencia de datos serán aquellos obtenidos de expedientes clínicos de las propias instituciones de salud. En una visión limitada, cada institución puede trabajar con sus

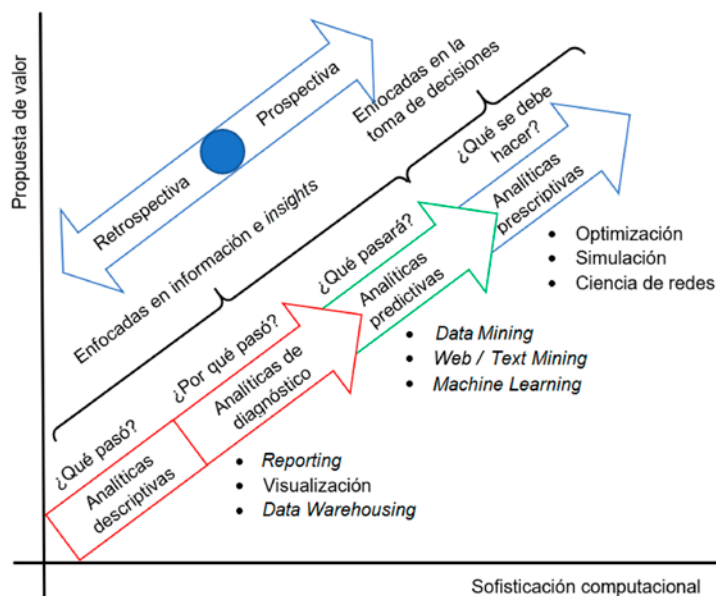


Figura 3. Proceso de obtención de analíticas. Fuente: Mosavi y Santos, 2020.

propios datos o, como sucede en algunos países actualmente, trabajar con los datos de sus sistemas centralizados de salud para tener una visión multicéntrica de la problemática a analizar. Por medio de las analíticas descriptivas se pueden obtener, por ejemplo, clasificaciones de tratamientos previamente prescritos por los profesionales de salud para un determinado padecimiento, de acuerdo con determinadas características del paciente, de manera que pueda conformarse una muestra representativa a partir de la cual se construya un modelo matemático que permita inferir cómo se relacionan esas características con el tratamiento previamente prescrito por los profesionales.

Este modelo se evalúa con un conjunto de datos diferente al utilizado para su construcción (pero, también, evaluados y calificados por profesionales), de manera que pueda medirse la precisión al comparar los tratamientos obtenidos por el modelo contra los prescritos por los médicos que evaluaron y calificaron los datos de prueba.

Finalmente, este modelo será dotado de valores de probabilidad obtenidos directamente de la literatura médica para sugerir el resultado que garantice un valor óptimo, de acuerdo con el criterio que se busque optimizar.

EJEMPLO DE APLICACIÓN: CÁNCER DE MAMA

Una de las principales enfermedades crónicas a nivel mundial es el cáncer. De acuerdo con datos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), esta enfermedad fue la principal causa de muerte de 2020, con 10 millones de defunciones, de las cuales 2.26 millones fueron nuevos casos de cáncer de mama (WHO, 2022).

El término “cáncer” engloba a un amplio grupo de enfermedades que pueden afectar y presentarse en cualquier parte del organismo. Su principal característica es la multiplicación rápida de células anormales que se extienden más allá de sus límites habituales y pueden invadir partes adyacentes del cuerpo o extenderse a otros órganos en un proceso llamado metástasis. Es entendible el interés en la investigación de nuevos métodos de detección temprana y tratamiento.

En México, la principal causa de muerte por cáncer en mujeres es el cáncer de mama; esto representa, de acuerdo con el Instituto Nacional de Salud Pública, la muerte de una mujer cada dos horas en 2022, a pesar de ser un cáncer que es curable si se trata en forma temprana. De acuerdo con el gobierno mexicano, los principales motivos de que este tipo de cáncer se vuelva mortal son un diagnóstico tardío por parte de los médicos y un inicio tardío del tratamiento por parte de los pacientes. Los protocolos de tratamiento para este padecimiento se encuentran recopilados y estandarizados en el *Consenso mexicano sobre diagnóstico y tratamiento del cáncer mamario*, el cual es un documento elaborado por la Sociedad Mexicana de Oncología A. C. revisado y actualizado anualmente, que sirve como herramienta auxiliar en la práctica diaria de los oncólogos y como fundamento de la Norma Oficial Mexicana para el tratamiento de este padecimiento (Cárdenas-Sánchez *et al.*, 2021).

Dos ejes deben seguirse para la creación de tratamientos personalizados para cáncer de mama: uno es centrado en el paciente y otro centrado en la información existente, como se muestra en la Figura 4.

En el eje centrado en los datos se trabaja con estudios retrospectivos basados en información

tomada de expedientes clínicos previamente anonimizados, y siguiendo los requerimientos de seguridad que las leyes y los propietarios de los expedientes determinen.

Sobre estos datos, tomando como referencia la información presente en el consenso, el primer paso consiste en obtener analíticas descriptivas que permitan conocer qué tratamientos han dado los médicos para cada subclasificación de cáncer de mama, agrupándolos y categorizándolos de manera que puedan construirse reglas que deberán coincidir con las especificadas por el consenso, y evaluar parámetros como su resultado (remisión o deceso), tiempo de remisión, recurrencia, etcétera.

Una vez obtenidas las analíticas descriptivas, el análisis predictivo deberá ser aplicado mediante técnicas que permitan entender la decisión tomada como resultado, y qué indicadores están siendo tomados en cuenta y cuáles no. Este modelo deberá ser avalado siempre por un médico.

En el eje centrado en el paciente, este debe ser copartícipe en la recolección de la información adicional necesaria para la construcción de su contexto. Esto puede ser hecho mediante herramientas como registros personales de salud que faciliten la comunicación entre paciente y médico; o bien, ser recopilada por los profesionales de salud en el ejercicio de su intervención.

Figura 4. Ejes para creación de tratamientos personalizados.



La personalización del tratamiento del paciente será realizada en el análisis prescriptivo, el cual puede ser llevado a cabo mediante técnicas como el aprendizaje por reforzamiento, que es una técnica basada en el modelo de aprendizaje de prueba y error. En esta técnica, una entidad independiente capaz de tomar decisiones (que recibe el nombre de agente) es dotada de un conjunto de reglas básicas con las cuales debe modificar su entorno, de manera que llegue a un estado final. Cada cambio al entorno otorga una recompensa o penalización al agente, que va agregando nuevas reglas de acuerdo con las interacciones con el entorno.

El objetivo es llegar al estado final optimizando el valor de la recompensa. El entorno será el contexto personal y clínico del paciente, y el agente se encargará de evaluar la probabilidad de éxito del tratamiento a lo largo del tiempo.

CONCLUSIONES

Es importante hacer notar que no se propone sustituir la labor médica por herramientas computacionales, sino otorgar herramientas basadas en datos y en literatura médica para que, tanto los profesionales, como los pacientes, se vean beneficiados. Por el lado de los profesionales, en el desarrollo de herramientas que faciliten la toma de decisiones de tratamientos que ofrezcan mayores probabilidades de efectividad, de acuerdo con el contexto del paciente; por el lado del paciente, otorgando herramientas enfocadas hacia la detección temprana, el seguimiento, la adherencia al tratamiento y recomendaciones basadas en evidencias científicas para el aspecto paliativo y emocional de la enfermedad.

Con una visión multidisciplinaria de la problemática, es posible que los tratamientos personalizados puedan traducirse en mejores posibilidades de recuperación y un mayor nivel de calidad de vida para los pacientes, con los consecuentes beneficios que una población sana representa para un país.

REFERENCIAS

- Cárdenas-Sánchez J, Bargalló-Rocha E, Erazo Valle A, Poitevin Chacón A, Valero Castillo V y Pérez Sánchez V (2021). Consenso Mexicano sobre diagnóstico y tratamiento del cáncer mamario. *Gaceta Mexicana de Oncología* 2-55. <https://www.elsevier.es/es-revista-gaceta-mexicana-oncologia-305-articulo-consenso-mexicano-sobre-diagnostico-tratamiento-X1665920115428989>.
- Coalition PM (2018). *Personalized Medicine at FDA: 2017 Progress Report*.
- Farkona S, Diamandis EP and Blasutig IM (2016). Cancer immunotherapy: The beginning of the end of cancer? *BMC Medicine* 14:73. <https://doi.org/10.1186/s12916-016-0623-5>.
- Goetz LH and Schork NJ (2018). Personalized medicine: Motivation, challenges, and progress. *Fertility and Sterility* 109(6):952-963. <https://doi.org/10.1016/j.fertnstert.2018.05.006>.
- Liao X, Lochhead P, Nishihara R *et al* (2012). Aspirin use, tumor PI-K3CA mutation, and colorectal-cancer survival. *New England Journal of Medicine* 367(17):1596-1606.
- Mosavi N and Santos M (2020). How Prescriptive Analytics Influences Decision Making in Precision Medicine. *Procedia Computer Science* 177:528-533. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.10.073>.
- Nan H, Hutter CM, Lin Y *et al* (2015). Association of aspirin and NSAID use with risk of colorectal cancer according to genetic variants. *Jama* 313(11):1133-1142.
- Pirracchio R, Cohen MJ, Malenica I, Cohen J, Chambaz A, Cannesson M, Lee C, Resche-Rigon M and Hubbard A (2019). Big data and targeted machine learning in action to assist medical decision in the ICU. *Anaesthesia Critical Care & Pain Medicine* 38(4):377-384. <https://doi.org/10.1016/j.accpm.2018.09.008>.
- Poornima S and Pushpalatha M (2020). A survey on various applications of prescriptive analytics. *International Journal of Intelligent Networks* 1:76-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2020.07.001>.
- WHO (2022). *Cáncer*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/cancer>.

**Facultad de Ciencias de la Computación
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

Gustavo Mendoza
gustavo.mendozao@alumno.buap.mx

Josefa Somodevilla
maria.somodevilla@correo.buap.mx

Concepción Pérez de Celis
maria.perezdecelis@correo.buap.mx

Modificando la superficie del titanio para reducir su desgaste

Samuel Hernández Montiel
Rebeca C. Rodríguez Jiménez
Leandro García González

La durabilidad de un material depende principalmente de las propiedades físicas y químicas que lo componen, como su peso, dureza, elasticidad, punto de fusión, entre otras. Por ejemplo, uno de los metales más resistentes y de larga vida útil es el titanio.

Sin embargo, dependiendo de la severidad del trabajo que ejecuta (tensión, compresión, fricción, etc.) o por lo agresivo del ambiente al que se expone (humedad, ácidos, temperatura, etc.), el titanio puede sufrir daños superficiales irreversibles.

Actualmente, existen formas de mejorar la protección y eficiencia del titanio, pero la mayoría suelen ser muy sofisticadas y costosas, por lo que en este trabajo se discuten algunos métodos prácticos y económicos que han demostrado favorecer sus propiedades y, sobre todo, su resistencia al desgaste.

El titanio fue descubierto en el año 1791 por el reverendo, mineralogista y químico británico William Gregor en Cornwall, Inglaterra. Años más tarde fue nombrado así por el químico Martin Heinrich Klaproth en honor a los titanes de la mitología griega. Ocupa el cuarto lugar entre los metales con mayor presencia en la corteza terrestre; se encuentra en la naturaleza en forma de minerales conocidos, como el rutilo (TiO_2) o la ilmenita (FeTiO_3). El titanio

es de color gris, su número atómico es 22, cuenta con una baja densidad, valor elevado de dureza, resistencia a la corrosión, compatibilidad con el organismo humano y baja conductividad térmica (Froes *et al.*, 2019).

Sus primeras aplicaciones se dieron en el campo aeroespacial y militar, y hoy en día sus usos más comunes están en la industria biomédica para implantes o prótesis, para los alabes de los rotores en la aeronáutica, en la automotriz para las bielas y válvulas (Niknam *et al.*, 2014).

La producción mundial de titanio en el 2020 fue de 4 millones de toneladas, una disminución significativa con respecto a años anteriores, en los cuales se registraron 5.2 millones de toneladas. Los principales países productores de titanio son Australia, Sudáfrica, Ucrania y Canadá ('Titanio: principales países productores 2020, Statista', n. d.).

Desafortunadamente, uno de los factores de los que más carecen las aleaciones de titanio es la resistencia al desgaste (Cely Bautista *et al.*, 2018), por lo que para reforzar esta deficiencia es muy común llevar a cabo la aplicación de tratamientos superficiales como la formación de películas o recubrimientos que otorgan, no solo una mejora a la resistencia al desgaste, sino también a los procesos de corrosión (Froes *et al.*, 2019).

El crecimiento de una capa de óxido de titanio (TiO_2) es considerada una de las formas más típicas para proveer de una mejora a la superficie de titanio, esto por los diferentes sistemas estructurales que puede adoptar, así como por su simple naturaleza cerámica (Khataee *et al.*, 2012). Al respecto, destacan dos procedimientos prácticos y económicos para mejorar la resistencia al desgaste del titanio: anodizado electroquímico (Hernández Montiel *et al.*, 2021) y tratamiento térmico (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

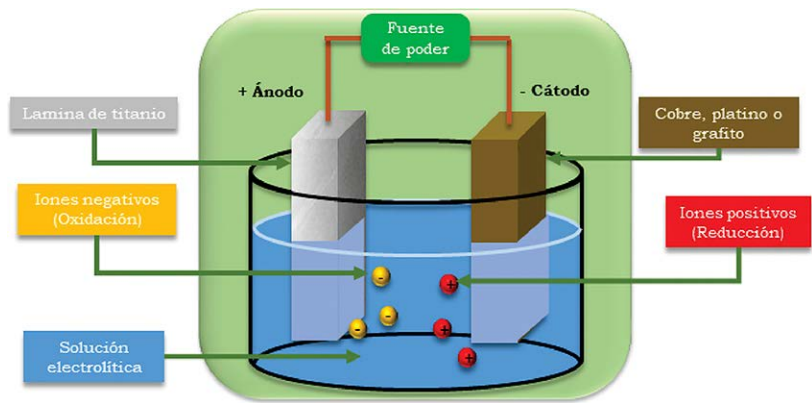


Figura 1. Esquema de una celda electroquímica.

ANODIZADO ELECTROQUÍMICO

El anodizado se encuentra en múltiples objetos como bicicletas, tornillos, candados, llaves y collares que tienen en común colores brillantes y llamativos que por lo general son obtenidos por anodización electroquímica, la cual consiste en el crecimiento de una capa de óxido metálico con un determinado espesor; este proceso es el responsable de brindarle un color característico al objeto. Esquemáticamente, el proceso de anodizado se trata de la formación de una celda electroquímica (Figura 1), fungiendo como ánodo para este caso una lámina de titanio, y como cátodo, cobre, platino o grafito; ambos electrodos inmersos en una solución electrolítica y conectados entre sí mediante una fuente de poder. El proceso que se lleva a cabo en la celda

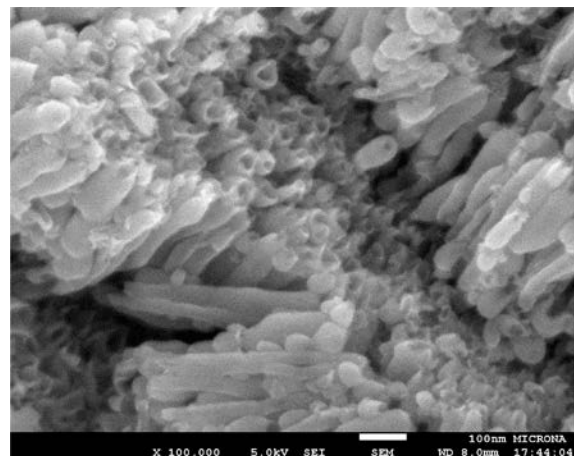


Figura 2. Nanotubos de TiO_2 sobre la superficie de titanio, obtenidos por anodizado electroquímico.

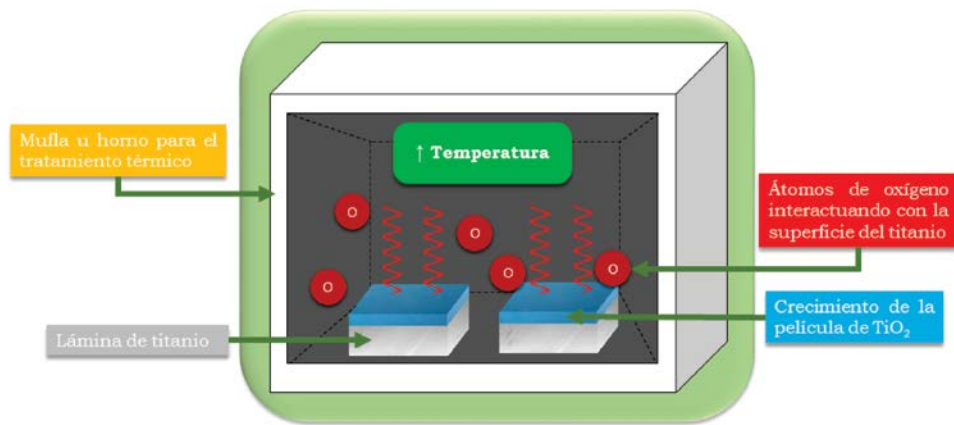


Figura 3. Láminas de titanio sometidas a temperaturas elevadas en el interior de la mufla.

permite obtener una capa de óxido de titanio (TiO_2), la cual puede ser puramente óxido sin estructura alguna o una con presencia de poros y tubos del orden de los nanómetros; lo anterior dependerá del tipo de electrolito a utilizar. Generalmente, la obtención de una superficie porosa o cubierta de nanotubos de TiO_2 , se debe al uso de soluciones con presencia de iones fluoruro o cloruro, gracias a su capacidad para disolver la capa de óxido e iniciar la formación de cavidades (Grimes *et al.*, 2009).

En la Figura 2 se muestra una imagen microscópica de alta resolución de una superficie de titanio anodizada, obtenida por el Grupo de Materiales Avanzados perteneciente al Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología de la Universidad Veracruzana (Microna-UV). En ella es posible observar nanotubos con diferente longitud y diámetro.

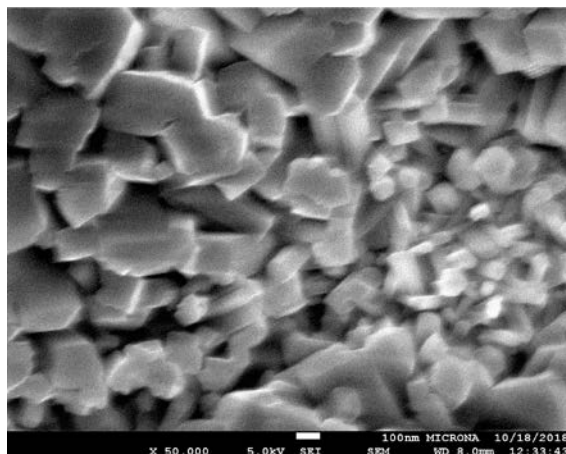


Figura 4. Granos de TiO_2 sobre la superficie de titanio, obtenidos por tratamiento térmico.

TRATAMIENTO TÉRMICO

En este proceso, la lámina de titanio es sometida a alta temperatura en el interior de una mufla u horno (Figura 3). La temperatura aplicada depende del uso posterior previsto para la lámina, pero, de manera particular, para obtener una película resistente al desgaste; las temperaturas más elevadas (por encima de los $600\text{ }^{\circ}\text{C}$) son la mejor opción debido a la alta densidad que la estructura atómica del TiO_2 puede adquirir (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

La alta temperatura genera un aumento de energía, lo que provoca que los átomos de titanio desprendan electrones, favoreciendo así la interacción con el oxígeno que se encuentra en el interior de la cámara, lo cual da como resultado la formación de una película de TiO_2 . Originalmente, el titanio cuenta con una capa de óxido nativa sobre su superficie, y es gracias a la alta temperatura que los átomos de oxígeno fluyen en el interior de la capa hasta interactuar con el titanio. Posteriormente reaccionarán ambos componentes, lo que concluirá con un aumento del espesor de la película de TiO_2 y, por tanto, con una mejoría en su resistencia al desgaste y en la adherencia al titanio (Maytorena-Sánchez *et al.*, 2021).

Las láminas de titanio tratadas térmicamente suelen presentar una superficie cubierta por granos de óxido con tamaños variados y geometrías nanométricas, tal y como se observa en la imagen generada por FE-SEM en la Figura 4.

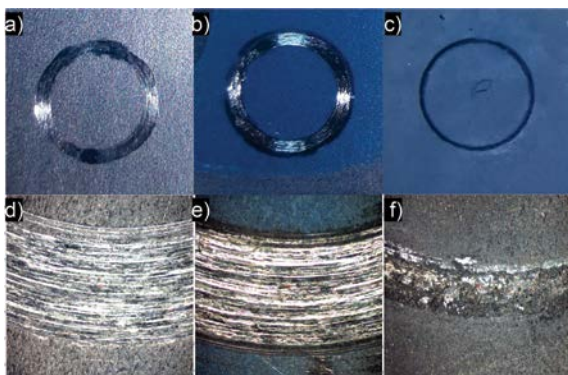


Figura 5. Imagen realizada por un microscopio óptico de la huella obtenida posterior a la prueba de microtribología de: a) y d) titanio, b) y e) TiO_2 anodizado y c) y f) TiO_2 tratado térmicamente a 750°C . En esta última se observa una huella de menor extensión, por lo que, en comparación con las anteriores, cuenta con la mayor resistencia a ser desgastada.

La capa de óxido formada otorga una alta protección al titanio en contra del ambiente, la oxidación y, principalmente, contra el desgaste. Pero en ambos casos (anodización electroquímica y tratamiento térmico), el titanio adoptará nuevas y mejores propiedades superficiales. Una manera de determinar qué tanto mejoró la superficie contra el desgaste es realizar pruebas de tribología.

ENSAYO DE TRIBOLOGÍA

Etimológicamente, la palabra tribología proviene del griego *tribos*, que significa “frotar”, y *logia*, “el estudio de”, por lo que el término puede definirse entonces como el estudio del frotamiento. El movimiento de dos cuerpos causa fricción en la interfaz y esto, eventualmente, provocará el desgaste en uno o los dos cuerpos en contacto (Prajapati *et al.*, 2020).

Esta prueba permite conocer cuál es el comportamiento abrasivo de la superficie de un material con base en dos parámetros: coeficiente de fricción y tasa de desgaste. Para el caso particular del titanio y el titanio recubierto con las capas protectoras generadas por el anodizado y el tratamiento térmico, es decir, la capa de óxido de titanio, el desgaste de la superficie se ilustra en la Figura 5. Las imágenes a, b y c) muestran las piezas de titanio. La lámina de titanio sin tratamiento superficial presentó mayor

desgaste, dado que la huella generada posterior a la prueba de tribología tiene la mayor amplitud (Figura 5 a y d). El titanio es un material muy utilizado hoy en día, por lo que la aplicación de tales procesos superficiales para su mejora no es un proceso difícil de implementar por la industria de las herramientas de corte o de materiales de uso ortopédico. Las metodologías tratadas en este trabajo, sin duda, son una alternativa para la reducción de la fricción y el volumen de desgaste.

REFERENCIAS

- Cely Bautista MM, Jaramillo Colpas J, Romero Mejía I, Pinilla Navarro O y Siado Guillen A (2018). Caracterización microestructural de la aleación de titanio Ti6Al4V oxidada térmicamente. *Prospectiva* 16:68-74.
- Froes FH, Qian M and Niinomi M (2019). An introduction to titanium in consumer applications. *Titanium for Consumer Applications*. Elsevier, pp. 1-12.
- Grimes CA and Mor GK (2009). *TiO₂ Nanotube Arrays*. Springer. Springer US, Boston, MA.
- Khataee A and Mansoori GA (2012). Nanostructured Titanium Dioxide Materials: Properties, Preparation and Applications. *World Scie*. Singapore.
- Maytorena-Sánchez A, Hernández-Torres J, López-Huerta F, Hernández-Campos MA, Zamora-Peredo L, Pacio-Castillo M, Serrano-De la Rosa LE and García-González L (2021). Analysis of the hardness and tribological properties of grade 2 titanium using the thermal oxidation process at different temperatures. *Materials Letters* 282:128679.
- Niknam SA, Khettabi R, Songmene and V (2014). *Machining of Titanium Alloys*. (Davim JP, Ed.) Materials Forming, Machining and Tribology. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Prajapati DK and Tiwari M (2020). *Tribology in Materials and Applications*. (Katiyar, J. K., P. Ramkumar, T. V. V. L. N. Rao & J. P. Davim, Eds.) Materials Forming, Machining and Tribology. Springer International Publishing, Cham.
- Titanio: principales países productores (2020) | Statista, (n.d.). <https://es.statista.com/estadisticas/1139562/paises-con-mayor-produccion-minera-de-titanio-en-el-mundo/#:~:text=Pa%C3%ADses%20con%20mayor%20producci%C3%B3n%20minera%20de%20titanio%20en%20el%20mundo%202020&text=Australia%20fue%20el%20pa%C3%ADs%20con,616.000%20y%20520.000%20toneladas%20respectivamente.>

Samuel Hernández Montiel
Rebeca C. Rodríguez Jiménez
Leandro García González
Centro de Investigación en Micro y Nanotecnología
Universidad Veracruzana
leagarcia@uv.mx

El infinito, las matemáticas y Borges

Manuel **González Sarabia**
Manuel **González Vargas**

Uno de los conceptos más elusivos, complejos y difíciles de entender en todos los ámbitos es el de infinito. Las aproximaciones a este concepto se han dado desde la filosofía, la poesía, la literatura, el arte en general y, por supuesto, las matemáticas. Antes de nosotros, el matemático y escritor argentino Guillermo Martínez escribió sobre la relación de Borges y la matemática (Martínez, 2013).

Aunque nosotros nos concentramos exclusivamente en la narrativa, hay otros estudios de la poesía de Borges que incluyen un análisis de su uso del infinito como concepto y como metáfora (Cervera, 1992).

La relación entre Borges y la ciencia no es un enfoque nuevo: ya la lingüista argentina Ana María Barrenechea publicó un artículo sobre la relación del escritor con el infinito (Barrenechea, 1956).

El mexicano Luis Quintana Tejera realizó un análisis exhaustivo del cuento *El libro de arena*, del que hablaremos posteriormente, enfocándose en el simbolismo que representa un libro infinito (Quintana, 2009).

Mucha gente dedicada a las matemáticas piensa que los poetas han definido al infinito de mejor manera que los matemáticos. Mario Benedetti escribió:

De un tiempo a esta parte
el infinito



© Javier Anzures Torres. Serie "El circo", tinta/papel, 30 x 40 cm, 1977.

se ha encogido
peligrosamente.

Quién iba a suponer
que segundo a segundo
cada migaja
de su pan sin límites
iba así a despeñarse
como canto rodado
en el abismo.

En este poema ya aparece una de las características que cualquier aproximación al concepto considera: sin límites. Julio Cortázar, en su inolvidable *Rayuela*, escribe:

La repetición al infinito de un ansia de fuga, de
atravesar el cristal y entrar en otra cosa.

Y nosotros creemos que esta descripción es una señal de que el infinito también puede ser una

puerta, una forma de pasar a "otro mundo" donde las reglas del sentido común podrían funcionar de manera diferente, donde la aritmética tradicional tropieza a cada paso que da. El mismo Jorge Luis Borges, a quien analizaremos con más detalle, escribe en *La Biblioteca de Babel*:

Quizá me engañen la vejez y el temor, pero sospecho que la especie humana –la única– está por extinguirse y que la Biblioteca perdurará: iluminada, solitaria, infinita, perfectamente inmóvil, armada de volúmenes preciosos, inútil, incorruptible, secreta. Acabo de escribir infinita. No he interpolado ese adjetivo por una costumbre retórica; digo que no es ilógico pensar que el mundo es infinito.

Y así podríamos continuar con citas de este estilo, pero el objetivo de este trabajo es analizar el concepto desde el punto de vista matemático y describir el eslabón que lo conecta con algunos de los mejores cuentos de Borges. Así que en la siguiente sección revisaremos algunas cuestiones

que tienen que ver con las matemáticas –descritas, en esta ocasión, de forma casi coloquial– y finalizaremos con el trabajo de Borges.

LAS MATEMÁTICAS

Cuando queremos analizar el concepto de infinito en matemáticas lo primero que debemos hacer es pluralizarlo: infinitos. No hay un solo infinito. Para tratar de aclarar lo anterior consideremos lo siguiente: desde la educación elemental sabemos cuáles son los números naturales, es decir, los enteros positivos, que se representan con la letra $\mathbb{N}$: 1, 2, 3, 4... y así podemos continuar sin fin. Se dice que este conjunto de números es infinito, pero como es posible contarlos, se dice que es un infinito numerable. Al número de elementos de este conjunto se le denota por la primera letra del alfabeto hebreo con subíndice cero: $\aleph_0$. Si ahora consideramos al conjunto de los números enteros, que se representa con la letra $\mathbb{Z}$ y donde además de los enteros positivos está el cero y los enteros negativos, el sentido común y la lógica tradicional nos dirían que el número de elementos de $\mathbb{Z}$ debería ser estrictamente mayor que el de $\mathbb{N}$, ¡pero no es así! Ambos conjuntos tienen $\aleph_0$ elementos. Esta aparente contradicción se debe a que, cuando nos enfrentamos al infinito, nuestra forma de razonamiento básica puede tambalearse.

© Javier Anzures Torres. Serie "Recuerdos",
tinta/papel, 50 x 65 cm, 1979.



Uno de los cuentos magistrales de Borges, *El Aleph*, debe su nombre a esa letra inicial del alfabeto hebreo mencionada arriba. Con respecto a uno de sus significados, Borges escribe lo siguiente, resumiendo de manera perfecta lo dicho antes para $\mathbb{N}$ y $\mathbb{Z}$: “[...] es el símbolo de los números transfinitos, en los que el todo no es mayor que alguna de las partes”.

Por otro lado, si ahora consideramos a *todos* los números que conocemos gracias a la educación básica (los que se llaman números reales y que se representan con la letra $\mathbb{R}$), donde lo mismo aparecen todos los enteros, los números que se llaman racionales (las fracciones, que antes se denominaban “quebrados” en las primarias), los números que se llaman irracionales (como $\sqrt{2}$, por ejemplo), los números llamados trascendentes (como el número π), etc., las cosas ya no son lo mismo. Los números reales son un conjunto infinito, pero no numerable. Al número de elementos de $\mathbb{R}$ se le denota por la letra aleph (sin subíndice): $\aleph$, aunque en algunas ocasiones se le escribe con subíndice 1. Es decir, tenemos infinitos diferentes, uno numerable y el otro no. De hecho, se cumple que

$$\aleph > \aleph_0$$

Una pregunta que debería surgir de forma natural es: ¿existe algún conjunto cuyo número de elementos sea estrictamente mayor que $\aleph_0$ y estrictamente menor que $\aleph$? La “respuesta” es lo que en matemáticas se conoce como hipótesis del continuo:

No existe conjunto A que cumpla con: $\aleph_0 < \text{número de elementos de } A < \aleph$.

Y escribimos respuesta entre comillas porque se ha demostrado que este resultado, propuesto por el matemático alemán Georg Cantor en 1878, es indemostrable, independiente o indecidible. Es decir, se ha demostrado que es imposible probar la veracidad o falsedad de esta hipótesis. ¿Cómo? ¿Se ha demostrado que este resultado es indemostrable? Otra vez el sentido común puesto a prueba. Otra vez un “mundo” donde el razonamiento estándar (cualquier cosa que esto signifique) se resquebraja.

Evidentemente, en matemáticas hay muchas formas de aproximarse a estos conceptos. Lo mismo ocurre, por gracia de la metáfora y de otras figuras retóricas, con la literatura. Es tiempo ahora de enfocarnos en algunos cuentos de Borges y analizar la influencia del infinito en esos textos.

BORGES

En 1968, Borges visita la Universidad de Austin para participar en una conferencia sobre *Don Quijote de la Mancha* y su autor, Miguel de Cervantes Saavedra. Para entonces, el argentino ya es un nombre propio en la literatura mundial. Al final de aquella breve presentación, que dura poco más de media hora, Borges deja ver, como pocas veces en su vida, una emotividad casi cursi. “He vuelto a Austin después de seis años. Y tal vez ese sentimiento ha superado lo que siento por Cervantes y por Don Quijote”, dice en su infranqueable inglés al público ahí presente. El escritor está profundamente emocionado:

Y, para repetir una frase trillada, y vamos, pero por supuesto todas las expresiones famosas se vuelven trilladas: “Algo bello es una dicha eterna [...]”.¹

Y es que Borges, a lo largo de su vida y de sus textos, ensayará en distintas ocasiones, incluso a veces sin decirlo explícitamente, sobre el infinito y sus circunstancias.

Antes de *El Aleph* (1949), su obra más sugerente acerca del infinito, Borges ya había explorado el tema, además de en *La Biblioteca de Babel* –aquella premonición del Internet–, en *El jardín de senderos que se bifurcan*. Ambos cuentos fueron publicados en su libro anterior de cuentos, *Ficciones* (1944), quizá el más celebrado en su obra breve.

Ahí, el argentino ensaya sus teorías sobre la posibilidad de un libro infinito, quizá un *loop*, quizá un círculo, en busca de entender cómo Ts’ui Pên, antepasado del narrador, había construido al mismo tiempo un libro y un laberinto.





© Javier Anzués Torres. Serie "Teléfonos", tinta/papel, 56 x 74 cm, 1977.

La respuesta del acertijo la dará el mismo autor de aquel artilugio: se trata de una bifurcación del tiempo, no del espacio. El jardín/libro/laberinto no era sino el universo tomando nuevos caminos con cada decisión de cada hombre, fragmentación cada vez más amplia, inabarcable... infinita. El cuento es relacionado incluso con la física cuántica y los multiversos: donde cada decisión abre la posibilidad de una nueva línea temporal, infinitas en el sentido de todas las decisiones que han tomado todas las personas que hayan existido. Escribe el narrador:

Pensé en un laberinto de laberintos, en un sinuoso laberinto creciente que abarcara el pasado y el porvenir y que implicara de algún modo los astros.

En 1946, Borges publica *El hacedor*, un libro misceláneo que incluye, entre otros artefactos, un brevísimo texto: *Del rigor de la ciencia*. El relato, que en realidad Borges hace pasar por una cita de un libro antiguo escrito por un autor seguramente inventado, habla de un imperio donde la cartografía se volvió una ciencia tan exacta que los mapas representan, en proporción 1:1, el sitio indicado:

Con el tiempo, estos Mapas Desmesurados no satisficieron y los Colegios de Cartógrafos levantaron

un Mapa del Imperio, que tenía el tamaño del Imperio y coincidía puntualmente con él.

El brevísimo texto concluye con un imperio abandonado, el mapa que desecharon por inútil. El cuento no tiene moraleja, ni más señales que los detalles de la supuesta cita de donde Borges extrae el fragmento. La pregunta que ronda al lector, entonces, es: ¿estas calles, este universo, es el nuestro, o es un infinito descartado por civilizaciones que creyeron inútil esta representación exacta de aquel otro?

Borges volvería a insistir en el infinito más de un cuarto de siglo después. En *El libro de arena*, su penúltimo libro de cuentos, el relato que lleva el nombre del título habla de aquel dispositivo maravilloso, un libro sin fin, un libro irrepetible, no solo por lo imposible de copiar o de reproducir, del que brotan folios, donde nunca volveremos a ver la misma página dos veces. El vendedor de biblias que llega a casa del narrador –Borges, en primera persona– a venderle el peculiar libro dice: “Si el espacio es infinito estamos en cualquier punto del espacio. Si el tiempo es infinito estamos en cualquier punto del tiempo”.

El narrador cae presa del libro. Sueña con el objeto, con sus páginas, enumeradas a la novena potencia en un caso, e intenta la empresa de hacer un índice. Enloquecido, y con miedo a quemar un libro sin fin que sofoque al mundo con humo interminable, Borges elige otro tipo de infinito para deshacerse de él.

En la Biblioteca Nacional, Borges aprovecha un descuido de los trabajadores para introducir el libro de arena en un anaquel. Elige desconocer los puntos de referencia. Borges asumió la dirección de la Biblioteca Nacional de Argentina, quizá el cargo supremo que un escritor como él podía alcanzar, en 1955.

Tomó las riendas de aquellos pasillos, en un edificio que, por las noches, con las luces encendidas, asemeja, en las mentes más escandalosas, una nave espacial.

En aquella época, Borges ya era el Borges ciego, el que había perdido la vista. Nada quedaba para entonces del “lento crepúsculo” que le fue dejando cada vez peor, como a sus antepasados; una ceguera que ni sus médicos pudieron diagnosticar con precisión. El escritor se retiró del cargo en 1973. Borges, reconocido como uno de los mejores lectores de su especie, un hombre ciego, obsesionado con la lectura, que le ha dedicado toda su vida a los libros, frente a los estantes y los folios incontables que se extienden más allá del horizonte en aquella ciudad memorable dentro de otra ciudad –Buenos Aires– donde cada tomo es una oportunidad de otro mundo, de otros conocimientos, de la invención del mundo, de los hombres y de las mujeres, de antes y de después: esa es, confiamos, una definición menos estricta –y por ello, más precisa– del infinito.

REFERENCIAS

Barrenechea AM (1956). El infinito en la obra de Jorge Luis Borges. *Nueva Revista de Filología Hispánica* 10(1):13-35.

Cervera SV (1992). *La poesía de Jorge Luis Borges: historia de una eternidad*. Universidad de Murcia.

Martínez M (2013). *Borges y la matemática*. Seix Barral.

Quintana T Luis (2009). El pensamiento infinito en el *Libro de arena* de Jorge Luis Borges. *Escritos Revista del Centro de Ciencias del Lenguaje* 39-40:133-143.

NOTA

La conferencia está disponible desde 2020 en este video de YouTube: <https://www.youtube.com/watch?v=6lPZICnNXOY>.

La transcripción de la primera parte puede ser consultada aquí: https://drive.google.com/file/d/11-t17W4C1_b88i0swCFIio7Lc6DN3ACq/view.

Manuel González Sarabia
Unidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas (UPIITA)

Instituto Politécnico Nacional
mgonzalezsa@ipn.mx

Manuel González Vargas
Editor del medio digital mexicano SinEmbargo MX



Develando el misterio de la formación de las estrellas dobles cercanas

Leonardo **Di G. Sigalotti**
Fidel **Cruz**

Se ha observado que la mayoría de las estrellas se encuentran en pequeños grupos de dos, tres o más estrellas, conocidos con el nombre de sistemas estelares dobles o múltiples. De esta población estelar, las estrellas dobles (o binarias) representan más del 80 %, muchas de ellas con separaciones orbitales menores al centenar de unidades astronómicas (ua; $1 \text{ ua} = 1.496 \times 10^8 \text{ km}$) (Horch *et al.*, 2020). Este enorme porcentaje de estrellas dobles ha llevado al consenso entre los astrónomos de que, tanto la formación estelar como la formación de los sistemas binarios y múltiples, son procesos concurrentes en nuestra galaxia. El término “estrellas binarias” para referirse en astronomía a las estrellas dobles fue introducido por el astrónomo germano-británico William Herschel en 1802.

El descubrimiento de la primera estrella doble se le atribuye al monje italiano Benedetto Castelli en enero de 1617 y se trata de la estrella binaria Mizar. Desde entonces, el catálogo de este tipo de astros se ha ido incrementando hasta alcanzar las más de 130,000 estrellas dobles catalogadas actualmente. De acuerdo con el método empleado para descubrirlas, las estrellas binarias admiten varias clasificaciones. Sin embargo, es posible que la clasificación más ampliamente conocida es aquella que agrupa a

las estrellas dobles en tres grandes categorías: (a) binarias visuales, (b) binarias espectroscópicas y (c) binarias eclipsantes o fotométricas. Las estrellas dobles visuales son aquellas observables a simple vista o por medios ópticos, es decir, mediante telescopios ópticos o detectores electrónicos, ya que sus componentes se encuentran separadas por grandes distancias que oscilan entre los cientos y miles de ua. En contraste, las binarias espectroscópicas poseen componentes muy cercanas entre sí, lo que hace que solo se detecten por la variación de sus líneas de absorción en los espectros del sistema, mientras que las eclipsantes o fotométricas son estrellas dobles cuyo plano orbital coincide aproximadamente con la línea de observación, cada estrella interponiéndose periódicamente entre la otra componente y el observador, lo que hace que este último observe eclipses que pueden ser totales o parciales. Gracias a las técnicas modernas de observación y visualización puede ocurrir que algunas estrellas dobles pertenezcan a los dos o incluso a los tres grupos. Son de especial interés, en el marco de la Teoría de la Formación Estelar, las llamadas estrellas dobles cercanas (o cerradas), con separaciones orbitales menores que 100 ua. Observaciones recientes muestran que un número importante de sistemas estelares binarios se encuentran precisamente en esta categoría (Horsch *et al.*, 2020).

Observaciones de estrellas binarias en sus etapas tempranas de formación, usando el Atacama Large Millimeter/Submillimeter Array (ALMA, el mayor radiotelescopio del mundo) (Tobin *et al.*, 2016; Alves *et al.*, 2019), están demostrando que muy posiblemente las separaciones orbitales de algunas decenas de ua observadas en muchos sistemas estelares binarios son consecuencia directa de sus procesos de formación (Kratter *et al.*, 2010). Estos nuevos resultados observacionales están develando por primera vez que las estrellas dobles cerradas se originan cuando el disco de gas y polvo que se forma alrededor de una protoestrella naciente, se fragmenta para dar origen a otra protoestrella en órbita

alrededor de la primera. El medio interestelar está compuesto por 99 % de gas, formado principalmente por hidrógeno molecular (H_2 , $\sim 80\%$) y helio (He, $\sim 20\%$), mientras el polvo constituye solo el 1 % en masa y está formado por granos diminutos (~ 0.0001 mm de diámetro) de carbono y silicatos en su mayoría. En realidad, el polvo interestelar no es muy diferente del humo normal al que estamos acostumbrados. La plausibilidad de que las inestabilidades gravitacionales se amplifiquen de manera no lineal e induzcan la fragmentación de un disco protoestelar ha sido estudiada abundantemente mediante modelos numéricos (Kratter y Lodato, 2016; Matsumoto *et al.*, 2019).

DANDO FORMA A LA TEORÍA DE LA FORMACIÓN ESTELAR

Existen suficientes evidencias observacionales para creer que más de la mitad de las estrellas observables con masas similares a la masa del Sol se encuentran en sistemas binarios o múltiples (Reipurth *et al.*, 2014; Horsch *et al.*, 2020), y que el origen de dichos sistemas es una consecuencia directa de los procesos de formación. De acuerdo con esta visión, la teoría de la formación estelar más actualizada indica que existen dos caminos que pueden operar de forma simultánea para explicar la formación de sistemas binarios y múltiples: la fragmentación a gran escala durante el colapso gravitacional de núcleos preestelares (es decir, de pequeñas condensaciones de gas turbulento y polvo en la estructura de las nubes de gas molecular, donde se origina el proceso de formación estelar), que puede conducir a la formación de estrellas dobles visuales con separaciones orbitales de cientos a miles de ua, y la fragmentación a menor escala de los discos protoestelares alrededor de cada componente binaria para dar origen a otra protoestrella (secundaria), en órbita alrededor de la primaria, a distancias menores que ~ 100 ua (Adams *et al.*, 1989; Sigalotti *et al.*, 2018). La Figura 1 muestra esquemáticamente el proceso de formación de una estrella doble cerrada a partir de la fragmentación de un disco con estructura espiral que acompaña a una protoestrella primaria, formada previamente

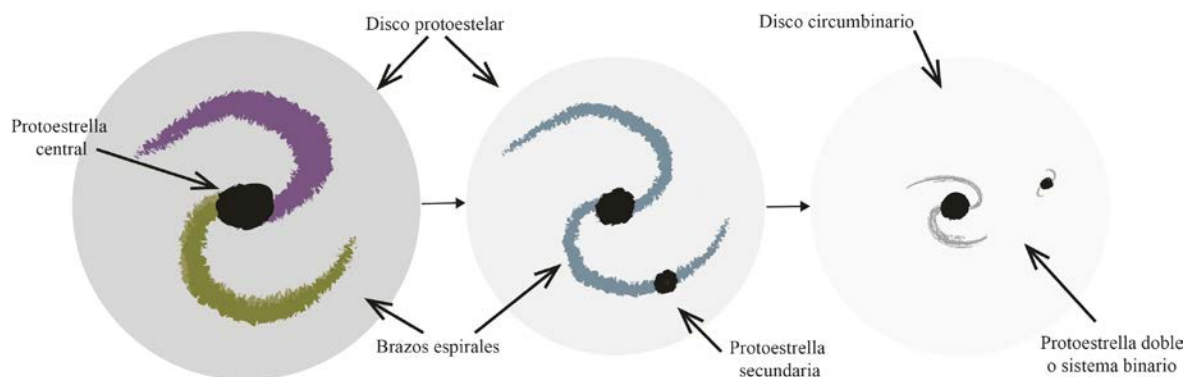


Figura 1. Esquema que muestra la formación de una estrella doble cerrada durante su fase embrionaria. Fuente: elaboración propia.

como resultado de la fragmentación a gran escala de un núcleo preestelar.

Simulaciones numéricas recientes del colapso gravitacional de núcleos de gas preestelar indican que los discos protoestelares son una consecuencia natural del colapso y la fragmentación gravitacional (Sigalotti *et al.*, 2018). Al fragmentarse el disco en otra protoestrella, el sistema binario naciente evoluciona acreciendo masa del disco circumbinario. Durante esta fase, los modelos teóricos sugieren que el gas con momento angular alto acrece preferencialmente sobre la secundaria, que es la componente menos masiva. Al momento de la fragmentación, parte de la rotación del disco alrededor de la primaria se convierte en momento angular orbital de la secundaria. Este efecto combinado con la acreción continua de material externo hace que la secundaria orbite durante sus fases iniciales con un momento angular mayor que la primaria (Matsumoto *et al.*, 2019).

Observaciones del sistema protoestelar triple L1448 IRS3B, con la ayuda de ALMA, han proporcionado por primera vez evidencia directa de la formación de dos protoestrellas, IRS3B-b e IRS3B-c, a partir de la fragmentación del disco circunestelar asociado a la protoestrella central IRS3B-a, las cuales se encuentran a distancias de la primaria de 61 ua y 183 ua, respectivamente (Tobin *et al.*, 2016). Evidencias más recientes han sido proporcionadas por observaciones de la protoestrella doble [BHB2007] 11 en el núcleo Barnard 59 tomadas con ALMA (Alves *et al.*, 2019). En este caso, las componentes

del sistema protobinario se encuentran separadas por una distancia de ~ 28 ua y se presume que la protobinaria se haya formado a partir de la fragmentación de un disco circunestelar de radio ~ 90 ua. El contenido de polvo del disco circumbinario alrededor del sistema doble se estimó en ~ 260 veces la masa de la Tierra, por lo que se sugiere que pudiese formar planetas rocosos en su evolución posterior (Liu y Ormel, 2018). La mejor descripción disponible hasta ahora de un sistema binario en formación ha surgido de la observación con ALMA de la protobinaria SVS 13, donde cada componente presenta un disco de gas y polvo a su alrededor y que, además, se encuentra en fase de formación de un disco circumbinario con una estructura espiral muy bien definida (Díaz-Rodríguez *et al.*, 2022). La separación orbital entre las dos componentes se estimó en alrededor de 90 ua. Los autores de estas observaciones pudieron también estudiar la composición química del gas, del polvo y del material ionizado, identificando alrededor de 30 moléculas diferentes, entre ellas 13 moléculas orgánicas precursoras de la vida. Esto indica que cuando comience la gestación de planetas alrededor de estos dos soles, los componentes básicos de la vida estarán presentes allí. Sin embargo, los modelos de formación planetaria, que sugieren que los planetas se forman por agregación de partículas de polvo y hielo en los discos protoplanetarios alrededor de estrellas nacentes, consideran por lo más estrellas

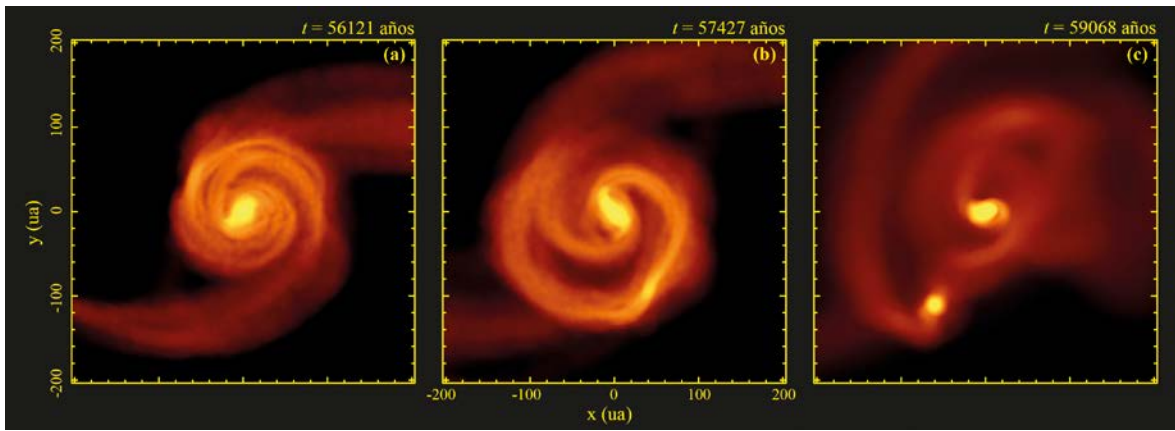


Figura 2. Imágenes obtenidas a partir de la simulación numérica del colapso gravitacional de un núcleo preestelar que muestra la estructura de un disco protoestelar después de la fragmentación a gran escala del núcleo: (a) estructura espiral del disco alrededor de una protoestrella primaria, (b) fragmentación del disco y (c) formación de un sistema binario cerrado con separación de 89 ua. En la parte superior derecha de cada recuadro se indica el tiempo de formación en años. Fuente: elaboración propia.

solitarias, como el Sol. Por lo tanto, actualmente se desconoce cómo sería la formación planetaria en torno a estrellas dobles donde las fuerzas de marea, debidas a la interacción gravitatoria entre ellas, pueden jugar un papel fundamental.

ESTRUCTURA ESPIRAL DE LOS DISCOS PROTOESTELARES

Las nuevas observaciones muestran que la formación de discos circunestelares durante las fases tempranas del proceso de formación estelar es un ingrediente necesario para poder explicar la formación de estrellas dobles cerradas. Durante el proceso de acreción, el disco aumenta su masa y eventualmente se vuelve inestable con respecto a la formación de brazos espirales, los cuales operan distribuyendo momento angular hacia afuera y haciendo que más material caiga sobre la protoestrella central. Eventualmente, el disco adquiere suficiente masa y se vuelve gravitacionalmente inestable, fragmentándose en una o más protoestrellas a distancias menores que 100 ua de la protoestrella primaria. Con base en esta observación se cree que diferentes distancias entre las estrellas observables en sistemas dobles y múltiples son el resultado de diferentes mecanismos de formación. A medida que nuevas evidencias observacionales apunten a la fragmentación

de los discos protoestelares como el mecanismo responsable de la producción de estrellas jóvenes dobles y múltiples cerradas, podremos entonces aprender algo más sobre cómo en realidad este proceso contribuye a la población de estrellas múltiples.

Observaciones de alta resolución angular con ALMA del objeto protoestelar HH 111 VLA 1 muestran de manera contundente la presencia de un par de brazos espirales en el disco protoestelar alrededor de HH 111 VLA 1 (Lee *et al.*, 2020). Los brazos espirales lucen simétricos y se extienden desde la protoestrella central hasta el borde externo del disco, de manera muy similar a la estructura espiral observada en muchas simulaciones (Figura 2). A medida que el disco incrementa su masa por acreción del material externo, este se vuelve gravitacionalmente inestable con respecto a la formación de brazos espirales, los cuales a su vez pueden fragmentarse debido a la amplificación no lineal de inestabilidades gravitacionales.

En la Figura 2 se muestra una secuencia de imágenes obtenidas a partir de la simulación numérica del colapso gravitacional de un núcleo preestelar, donde se puede apreciar la evolución de un disco protoestelar con estructura espiral muy similar a la observada alrededor de HH 111 VLA 1 y la fragmentación de este para dar origen a una protoestrella doble cerrada. Los brazos espirales en el panel de la izquierda lucen bastante simétricos y la fragmentación del disco ocurre en el extremo de un brazo



© Javier Anzures Torres. Serie "Bajo la sombra del tiempo", óleo/tela, 140 x 150 cm, 2009.



© Javier Anzures Torres. Serie "Bajo la sombra del tiempo", Aurora, óleo/tela, 140 x 150 cm, 1994.

espiral. En el escenario de la formación estelar, los brazos espirales aparecen en las fases iniciales de formación y persisten hasta que la acreción de material sobre el disco disminuye cuando más de la mitad del material en la envoltura externa ha ya acrecido (Hall *et al.*, 2019). Por lo tanto, es de esperarse que la estructura espiral del disco desaparezca por completo cuando el proceso de acreción se detiene.

A LA BÚSQUEDA DE MÁS PROTOESTRELLAS OBSERVABLES

La formación de estrellas dobles cerradas ha generado un intenso debate en torno a los posibles mecanismos de formación. Por ejemplo, antes de

la puesta en operación de ALMA, se propuso que un mecanismo posible consistía en la captura de una estrella por el campo gravitatorio de otra en regiones de alta densidad estelar, como es el caso de los cúmulos de estrellas, dando así lugar a una estrella binaria estable. Si bien no es imposible que algunas estrellas dobles puedan formarse mediante este mecanismo, por otro lado es cierto que dicho evento es en realidad poco probable, ya que se requieren al menos tres estrellas, donde una escapa del sistema y las otras dos permanecen ligadas gravitacionalmente. Además, el principio de conservación de la energía descarta que un solo cuerpo gravitante capture a otro. Dada la abundancia de estrellas dobles observables, un evento poco probable no puede ser el mecanismo principal de formación.

Con la ayuda del arreglo de los radiotelescopios ALMA se han podido realizar observaciones de sistemas protoestelares e, incluso, observar detalles inherentes a los discos circunestelares como, por ejemplo, la estructura espiral de los mismos. Si bien existe un consenso casi unánime en la comunidad astronómica en cuanto a que la fragmentación dinámica de los discos protoestelares constituye el mecanismo dominante de formación, se espera, con la ayuda de ALMA, incrementar el número de descubrimientos de sistemas protoestelares que puedan finalmente corroborar la validez del estado actual de la teoría de la formación estelar. Estas nuevas observaciones no solo aportarán luz sobre la naturaleza de las protoestrellas y de su entorno, sino que también proporcionarán parámetros útiles para refinar los modelos que darán forma a la teoría de la formación estelar.

R E F E R E N C I A S

- Adams FC, Ruden SP and Shu FH (1989). Eccentric gravitational instabilities in nearby Keplerian disks. *The Astrophysical Journal* 347:959-976. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511564772.028>.
- Alves FO, Caselli P, Girart JM, Segura-Cox D, Franco GAP, Schmiedeke A and Zhao B (2019). Gas flow and accretion via spiral streamers and circumstellar disks in a young binary protostar. *Science* 366(6461):90-93. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aaw3491>.



Díaz-Rodríguez AK, Anglada G, Blázquez-Calero G, Osorio *et al.* (2022). The physical properties of the SVS 13 protobinary system: Two circumstellar disks and a spiraling circumbinary disk in the making. *The Astrophysical Journal* 930:91. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac3b50>.

Hall C, Dong R, Rice K, Harries TJ *et al.* (2019). The temporal requirements of directly observing self-gravitating spiral waves in protoplanetary disks with ALMA. *The Astrophysical Journal* 871:228. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aafac2>.

Horch EP, van Belle GT, Davidson JW, Willmarth D *et al.* (2020). Observations of binary stars with the differential speckle survey instrument. IX. Observations of known and suspected binaries, and a partial survey of Be stars. *The Astronomical Journal* 159(5):233. <https://doi.org/10.3847/1538-3881/ab87a6>.

Kratter KM, Matzner CD, Krumholz MR and Klein RI (2010). On the role of disks in the formation of stellar systems: a numerical parameter study of rapid accretion. *The Astrophysical Journal* 708:1585-1597. <http://dx.doi.org/10.1088/0004-637X/708/2/1585>.

Kratter KM and Lodato G (2016). Gravitational instabilities in circumstellar disks. *Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 54:271-311. <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081915-023307>.

Lee C-F, Li Z-Y and Turner NJ (2020). Spiral structures in an embedded protostellar disk driven by envelope accretion. *Nature Astronomy* 4:142-146. <https://doi.org/10.1038/s41550-019-0905-x>.

Liu B and Ormel CW (2018). Catching drifting pebbles. I. Enhanced pebble accretion efficiencies for eccentric planets. *Astronomy and Astrophysics* 615:A138. <https://doi.org/10.1051/0004-6361/201732307>.

Matsumoto T, Saigo K and Takakuwa S (2019). Structure of a protobinary system: An asymmetric circumbinary disk and spiral arms. *The Astrophysical Journal* 871(1): 36. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aaf6ab>.

Reipurth B, Clarke CJ, Boss AP, Coodwin SP *et al.* (2014). Multiplicity in early stellar evolution. En Beuther H, Klessen RS, Dullemond CP y Henning T (Eds.), *Protostar and Planets VI* (pp. 267-290). University of Arizona Press: Tucson. https://doi.org/10.2458/azu_uapress_9780816531240-ch012.

Sigalotti LDiG, Cruz F, Gabbasov R, Klapp J and Ramírez-Velasquez J (2018). From large-scale to disk fragmentation into close binary stars. *The Astrophysical Journal* 857:40. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/aab619>.

Tobin JJ, Kratter KM, Persson MV, Looney LW *et al.* (2016). A triple protostar system formed via fragmentation of a gravitationally unstable disk. *Nature* 538:483-486. <https://doi.org/10.1038/nature20094>.

Leonardo Di G. Sigalotti
Profesor e investigador
Departamento de Ciencias Básicas
Universidad Autónoma Metropolitana
Azacapatzalco (UAM-A)
leonardo.sigalotti@gmail.com

Fidel Cruz
Profesor e investigador
Departamento de Ciencias Básicas
Universidad Autónoma Metropolitana
Azacapatzalco (UAM-A)

Cine de ciencia ficción: visiones de futuro y lecciones para el presente

Gustavo Corral Guillé

Los primeros días de enero, en medio de la cuarta ola de contagios de COVID-19 en México, me encontré inmerso en un universo que hasta entonces me resultaba muy poco familiar y que tiene ambientes tan diversos como un mundo posapocalíptico, colonias espaciales y máquinas con una inteligencia que las hace indistinguibles de los humanos. Esto fue posible gracias a una amiga que me invitó a participar en un cineclub sobre ciencia ficción que ella había organizado junto con un grupo de jóvenes vinculados a diversas áreas de conocimiento. Hasta entonces, no había leído ni visto mucha ciencia ficción, o al menos no desde hacía un largo tiempo. Para mí, este género se caracterizaba ante todo por su afán de predecir el futuro del mundo y la presencia y plausibilidad de una base científica y tecnológica.

Pero cuantas más películas veía, cuanto más leía sobre alguna producción en particular o la novela que le sirvió de inspiración, y cuanto más discutía con los miembros del cineclub, me daba cuenta de que el objetivo de la ciencia ficción no es predecir el futuro, ni el género trata sobre la tecnología *per se*. Es más: suponer que *Blade Runner* estaba prediciendo para 2019 la posibilidad de crear androides con conciencia y autos voladores, es tan absurdo como asumir que Dean Koontz, en su novela

The Eyes of Darkness, de 1981, predijo la pandemia de coronavirus.

Entonces, si predecir el futuro no es la razón más importante de la ciencia ficción, ¿qué hace?, ¿cómo y por qué? ¿Puede entonces seguirse sosteniendo que la ciencia ficción influye en el futuro? (Perkins-Kirkpatrick, 2017; Augé, 2021; Pak, 2021).

El papel de la ciencia ficción es especular sobre las posibilidades de un mundo futuro, pero poniendo el foco en el ahora y ofreciendo, en muchas ocasiones, lecciones valiosas para el presente. Y por supuesto que la ciencia y la tecnología tienen un papel protagonista, pero su presencia no debe valorarse únicamente por su verosimilitud o credibilidad, pues lo que en realidad hace posible la historia son los contextos, los usos y los efectos que los conceptos científicos y las tecnologías tienen en los humanos. El verdadero valor de la ciencia ficción está en especular de forma imaginativa sobre el futuro a partir de reflexionar, interrogar y satirizar el presente. Evidentemente, parte importante de ese análisis gira en torno a las relaciones cada vez más estrechas entre las personas y la tecnología, así como a los cambios que esas relaciones producen en nuestras vidas. De ahí que muchas de las películas de ciencia ficción que han logrado perdurar en el tiempo como clásicos del género supieron comprender el *zeitgeist*, el espíritu de su tiempo, y capturarlo con maestría para especular a partir de la pregunta ¿qué ocurriría si...?

Más que a predecir el futuro, la pregunta va encaminada a sugerir un futuro posible que muchas veces puede ser una advertencia sobre las implicaciones sociales y políticas de las decisiones tecnológicas que tomamos como sociedad. Pero es también una invitación a confrontar ese futuro propuesto y cuestionar las posturas que como individuos y como sociedad tomamos sobre determinados temas contemporáneos cruciales. La elección está entre continuar por el camino hacia un futuro sombrío o abrazar nuestra capacidad para influir en el cambio y trabajar para construir un futuro más justo y sostenible.



© Javier Anzures Torres. Serie "Pensamientos", lápiz y pastel/papel, 56 x 70 cm, 1995.

LA CRISIS CLIMÁTICA: MIEDOS Y ANSIEDADES EN UN FUTURO EXTRAÑO Y AMENAZANTE

Un ejemplo ilustrativo en ese sentido es *Dune*, una de las obras literarias más icónicas de la ciencia ficción, escrita en 1965 por Frank Herbert y llevada al cine por David Lynch en 1984, y por Denis Villeneuve en 2021.

Más allá de sus méritos y sus fallas, ambas producciones trasladan al lenguaje visual las especulaciones que Herbert presenta en *Dune* en torno a un mundo abordado como un sistema de sistemas: sistemas sociales, sistemas políticos, sistemas económicos y una ecología de sistemas. Se trata de una invitación a imaginar un futuro en el que los ecosistemas son herramientas que pueden ser controladas, una especie de cajas negras definidas solo por entradas y salidas de materia y energía. Cada organismo dentro del sistema depende de las acciones de los otros, y la mínima entrada que altere el equilibrio global del sistema puede generar salidas desastrosas.¹

En *Dune*, se trata de ser consciente de las relaciones y de los impactos que pueden ocasionar los componentes del sistema, ya sea como corporación o como individuo. Todo este enfoque tiene rostro humano en la figura de los Fremen, un grupo de guerreros nómadas que luchan por alcanzar

el balance de los materiales y recursos naturales, limitando su uso a la disponibilidad local.

En este punto conviene aclarar que toda película –o la novela en que se inspiró– es el resultado de una serie de decisiones conscientes sobre qué elementos abstraer de la realidad y cómo usarlos para construir el producto final. Como es de esperar, los elementos que seleccionan los escritores, guionistas y directores occidentales suelen ser arbitrariamente eurocéntricos, dejando fuera muchos otros que no pertenecen a ese paradigma. Por supuesto, *Dune* no está exenta de ese sesgo, pues se ha señalado que se trata de una narrativa eurocéntrica del colonialismo que dice más del mundo imaginado del colonizador, que del mundo vivido por el colonizado (Asher-Perrin, 2019; Sturtevant, 2020; Raj, 2021). La representación reproduce estereotipos dominantes sobre los pueblos colonizados, como el del salvador blanco, desde la perspectiva del buen salvaje en la figura de los

Fremen. Y no podemos obviar tampoco que ese salvador blanco es el resultado de un experimento eugenésico (Asher-Perrin, 2019).

La narrativa *cli-fi* (ficción climática) se reelabora a manera muy sugerente en la película vietnamita de 2014 titulada *Nuróc 2030 (Agua 2030)*. Nguyễn-Võ Nghiệm-Minh, su director, retrata una vasta área de humedales en el delta del Mekong, al sur de Saigón, que en el año 2030 se encuentran ya al nivel del mar, eliminando por completo la existencia de tierras cultivables. Sin embargo, Nguyễn-Võ construye ese futuro desde una perspectiva asiática, según la cual la crítica del capitalismo no puede omitir criticar también el colonialismo.

Lo que se percibe desde el Norte global como escenarios ecocatastróficos y auténticas distopías causadas por el cambio climático, en ese futuro imaginado desde el Sur global se vive como parte de su propia realidad. Las estructuras sociales en contextos de escasez de recursos, desplazamiento,



violencia, suministros alimentarios precarios e incertidumbre, son la norma en las comunidades que han experimentado el colonialismo en sus diversas formas. Si bien en las últimas décadas se han esclarecido muchas de las consecuencias del cambio climático en términos científicos, dichas consecuencias no son nuevas en términos de la experiencia cotidiana en los territorios coloniales. La película cuestiona incluso conceptos como la propiedad privada y la propiedad intelectual, que resultan indiscutibles desde el sistema civilizatorio moderno, pero que aún son ajenos en diversas comunidades indígenas del mundo. Conceptos que, además, resultan más inciertos en un contexto de cambio climático que ha inundado prácticamente todo el territorio.

Otro ejemplo notable de nuevos modos narrativos de representación del cambio climático es el cortometraje keniano *Pumzi*, de 2009, escrito y dirigido por Wanuri Kahiu. La historia se sitúa en el desierto, unas décadas después de la Tercera Guerra Mundial, y nos presenta a una comunidad aislada que habita en una instalación subterránea. Así, a través de la construcción de un mundo posapocalíptico agonizante por la crisis ambiental, *Pumzi* especula sobre cuestiones tan diversas como la importancia ecológica de la agricultura, el biopoder, el género, la raza, la sustentabilidad y, por supuesto, la visión de un afrofuturismo basado en una ética ecológica y en una integración sociedad-naturaleza.

POSHUMANISMO Y EL ANHELO DE TRASPASAR LOS LÍMITES DE LO HUMANO

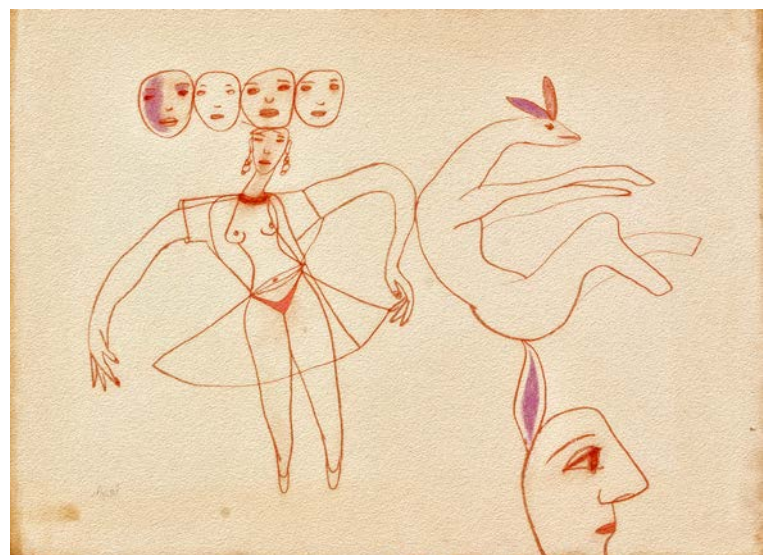
Muchas películas de ciencia ficción imaginan un mundo en el que las diferencias entre el hombre y la máquina se difuminan y ponen en cuestión el significado de ser humano. Una estrategia habitual de esta especulación poshumanista consiste en ofrecer como premisa del argumento una tensión y una lucha entre los humanos puramente biológicos contra las máquinas —robots, androides o *cyborgs*—, construidas artificialmente. Una de las películas más conocidas que parte de este planteamiento es *Blade*

Runner (1982), basada en la novela *Do Androids Dream of Electric Sheep?* (1968) de Philip K. Dick. El protagonista de esta historia, Rick Deckard, se dedica a identificar y cazar replicantes, es decir, androides que se hacen pasar por humanos. El medio que tiene Deckard a su disposición para distinguir entre humanos y no humanos es la prueba Voight-Kampff que evalúa las reacciones psicológicas y fisiológicas para determinar si el sujeto muestra preocupación por la vida de los otros.

Philip K. Dick, por lo tanto, pone en entredicho el consenso occidental sobre la condición humana que se remonta al cartesianismo, y nos sugiere un mundo futuro en el que la base para distinguir entre lo humano y lo no humano es la empatía, y no la razón o la inteligencia.

Con ese criterio, la categoría de “lo humano” debe incluir a todo aquel ser capaz de demostrar empatía por otros seres, sean estos animales, computadoras o robots. Sin embargo, y no es de sorprender, al menos en la película de 1982, esta condición poshumana continúa apuntando a los valores antropo y androcéntricos aprobados por la mirada eurocéntrica desde un devenir exclusivamente maquínico del poshumanismo.² Hay, no obstante, otras autoras y autores que han explorado otras posibles expresiones del poshumanismo, muchas de las cuales

© Javier Anzures Torres. Serie "Pensamientos",
lápiz y pastel/papel, 50 x 65 cm, 1995.





© Javier Anzures Torres. Serie "Pensamientos", lápiz y pastel/papel, 55 x 65 cm, 1995.

siguen a la espera de una adaptación cinematográfica. Por ejemplo, recientemente he descubierto a Octavia Butler, una de las pioneras del afrofuturismo, que prefigura un devenir más orgánico del poshumanismo en su cuento *Bloodchild*. Se trata de una perspectiva que posteriormente desarrollarán autoras como Donna Haraway (1995) en sus teorías *cyborg* de lo poshumano y, más recientemente, la filósofa y teórica feminista Rosi Braidotti (2015). Estas nuevas aproximaciones a lo poshumano trascienden la dicotomía humano-no humano –y otras como hombre-mujer o natural-artificial– al imaginar tipos de sociedades caracterizadas por relaciones igualitarias que vinculan a los seres humanos entre sí y con seres no humanos.

Ejemplos como los que he enunciado aquí revelan una variedad de preocupaciones y actitudes sociales en torno a los cambios experimentados en la sociedad como resultado de la creciente penetración de la ciencia y la tecnología en todas las facetas de nuestra vida. Esos futuros de ficción son en buena medida una advertencia sobre las consecuencias de abrazar acríticamente las nuevas tecnologías y la

gestión tecnocientífica. Para que esa advertencia produzca mayor efecto, tal y como sugirió el autor de ciencia ficción Frederick Pohl (1968, p. 6), “Una buena historia de ciencia ficción debería ser capaz de predecir no el automóvil sino el embotellamiento”. Es decir, la ciencia ficción no consiste únicamente en construir un mundo futuro con cierta plausibilidad y colocar un elemento tecnocientífico en el centro de la historia. Tiene, además, que explorar y especular sobre el impacto humano de esa tecnología: las cuestiones éticas y los fundamentos ideológicos en torno a una innovación tecnológica o a una práctica científica; el aumento de la desigualdad y todo lo que implica, a medida que aumenta el uso de la nueva tecnología y las decisiones políticas y sus impactos en la sociedad. Y, sin duda, para que esas premisas se cumplan, es preciso que los mundos futuros imaginados se adentren escrupulosamente en los problemas urgentes de la actualidad y ofrezcan lecciones valiosas para el presente.



REFERENCIAS

Asher-Perrin E (2019). Why it's important to consider whether Dune is a white savior narrative. Recuperado en octubre 26, 2022, de <https://www.tor.com/2019/03/06/why-its-important-to-consider-whether-dune-is-a-white-savior-narrative>.

Augé E (10 de noviembre de 2021). Why science fiction films help us study the future. *Tomorrow's Worlds*. Recuperado en diciembre 1, 2022, de <https://spectator.clingendael.org/en/publication/why-science-fiction-films-help-us-study-future>.

Braidotti R (2015). *Lo posthumano*. Barcelona: Gedisa.

Haraway D (1995). *Ciencia, cyborgs y mujeres. La reinención de la naturaleza*. Madrid: Cátedra.

Pak C (6 de octubre de 2021). Climate crisis: how science fiction's hopes and fears can inspire humanity's response. *The Conversation*. Recuperado en diciembre 1, 2022, de <https://theconversation.com/climate-crisis-how-science-fictions-hopes-and-fears-can-inspire-humanitys-response-167092>.

Perkins-Kirkpatrick S (5 de septiembre de 2017). Can 'cli-fi' actually make a difference? A climate scientist's perspective. *The Conversation*. Recuperado en noviembre 29, 2022, de <https://theconversation.com/can-cli-fi-actually-make-a-difference-a-climate-scientists-perspective-83033>.

Pohl F (1968). Editorial: The great new inventions. *Galaxy Magazine* 27(5):4-6. Recuperado en octubre 18, 2022, de https://archive.org/details/Galaxy_v27n05_1968-12_modified/mode/2up.

Raj R (2 de noviembre de 2021). Colonialism and Culture in Cinema: Looking at Villeneuve's *Dune*: Part One. *Medium-Alternate Take*. Recuperado en noviembre 30, 2022, de <https://medium.com/alternatetake/colonialism-and-culture-in-cinema-looking-at-villeneuves-dune-part-one-ea8c0f70c201>.

Sturtevant P (16 de septiembre de 2020). Maybe *Dune*, a story about a white superman created by a eugenics program, is not the film we need right now. Paul B. Sturtevant. Recuperado en noviembre 30, 2022, de <https://www.paulsturtevant.com/dune-eugenics-colonialism>.

NOTAS

¹ Otra forma de aproximarse a la ecología es la ecología evolutiva, que no busca conseguir la estabilidad de los ecosistemas a partir del control, sino garantizar que estos puedan funcionar aun en condiciones de poca estabilidad o bajo equilibrio.

² Lo mismo puede decirse de películas como *Westworld* (1973); *AI. Artificial Intelligence* (2001); *I, Robot* (2004); *Her* (2013); *Ex Machina* (2015) y muchas otras.

Gustavo Corral Guillé
Investigador huésped
Centro de Investigaciones y Estudios Superiores
en Antropología Social (CIESAS)
Pacífico Sur
gustavo.corral@gmail.com

De cómo es que los estados cuánticos gaussianos bipartitas codifican dos bits cuánticos

Giselle N. **Morales Rosales**
Fabiola **García Gutiérrez**
Manuel **Ávila Aoki**

BITS CUÁNTICOS (CUBITS)

En el procesamiento clásico de información que emplea el cómputo usual, la información es portada por bits clásicos representados por los dígitos binarios 0 y 1. La cantidad física portadora de un bit clásico deberá entonces tener dos diferentes valores. Así, por ejemplo, puede ser un potencial eléctrico con valores positivo y negativo.

En general, es necesario que dichas cantidades físicas deben ser todas las variables macroscópicas que puedan ser manipuladas con alta precisión dentro de las tecnologías actuales. El bit clásico necesariamente está en un solo estado, ya sea 0 o 1. El bit clásico no puede estar en ambos estados simultáneamente.

En Procesamiento de la Información Cuántica (PIC) se emplea el cubit (abreviación de bit cuántico) (Niel- sen, 2000).

El cubit es la unidad lógica mínima del PIC y se representa matemáticamente mediante la expresión:

$$|Q\rangle = A|0\rangle + B|1\rangle, \quad (1)$$

donde A y B son números complejos que satisfacen $A^*A + B^*B = 1$. Las cantidades A^*A y B^*B representan las probabilidades de que la respuesta lógica sea $|0\rangle$ o $|1\rangle$ respectivamente. Así, a diferencia de los bits clásicos, el cubit puede tener dos respuestas lógicas diferentes a la vez, pero con diferentes pesos estadísticos o probabilidades para cada una de ellas.

ESTADOS LÓGICOS DE DOS CUBITS Y MATRIZ DE DENSIDAD DE ESTADOS CUÁNTICOS

La respectiva expresión matemática para un estado de dos cubits deberá expresar las cuatro diferentes posibilidades lógicas para cada uno de los cubits:

$$|Q_1Q_2\rangle = c_0|00\rangle + c_1|01\rangle + c_2|10\rangle + c_3|11\rangle \quad (2)$$

donde los coeficientes c_i ($i=0, 1, 2, 3$) son números complejos tales que $|c_0|^2 + |c_1|^2 + |c_2|^2 + |c_3|^2 = 1$. La interpretación física de dichos coeficientes es como sigue: $|c_0|^2$ es la probabilidad de que una medición del estado $|Q_1Q_2\rangle$ de dos cubits resulte en el estado $|00\rangle$. Por otra parte, $|c_1|^2$ es la probabilidad de que una medición del estado $|Q_1Q_2\rangle$ arroje el estado $|01\rangle$. Y así, sucesivamente, para los coeficientes c_2 y c_3 . La información cuántica de un sistema de cubits también está contenida en la matriz de densidad de estados cuánticos dada por:

$$\rho = |Q_1Q_2\rangle\langle Q_1Q_2| = \begin{pmatrix} |c_0|^2 & c_0^*c_1 & c_0^*c_2 & c_0^*c_3 \\ c_1^*c_0 & |c_1|^2 & c_1^*c_2 & c_1^*c_3 \\ c_2^*c_0 & c_2^*c_1 & |c_2|^2 & c_2^*c_3 \\ c_3^*c_0 & c_3^*c_1 & c_3^*c_2 & |c_3|^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

donde se ha hecho uso de la ecuación (2). La matriz de densidad de estados de la ecuación (3) contiene exactamente la misma información cuántica lógica que el estado de la ecuación (2). Son dos formalismos equivalentes. La matriz de densidad de estados de la ecuación (3) es mucho más conveniente para extraer información cuántica que el estado de la ecuación (2). La razón es que no es matemáticamente engorroso y, por lo tanto, resulta más simple para el PIC. La traza (suma de los

elementos de la diagonal principal) de la matriz de densidad de estados de la ecuación (3), es precisamente la condición de conservación de la probabilidad total mencionada líneas debajo de la ecuación (2). Las cantidades fuera de la diagonal principal de la ecuación (3) se interpretan como las probabilidades de transiciones entre los cuatro diferentes estados lógicos $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$. En suma, la matriz de densidad de estados de la ecuación (3) describe completamente un estado de dos cubits.

COMUNICACIONES CUÁNTICAS

En PIC se emplean estados cuánticos entrelazados de dos o más cubits. Dichos estados cuánticos se caracterizan matemáticamente por ser no separables (Nielsen, 2000).

Existe una gran cantidad de dispositivos físicos que implementan cubits y estados entrelazados. Pero, en lo referente a tareas de comunicación, la luz parece ser el mejor candidato para implementar cubits y estados entrelazados debido a que puede ser transmitida a grandes distancias eficientemente. Aquí surge la siguiente pregunta: ¿cuán robustamente podemos manipular los estados cuánticos preparados con luz?

Antes de responderla, se debe entender que la luz está cuantizada, es decir, está compuesta de partículas o corpúsculos llamados fotones. Entonces, preparar experimentalmente de manera determinista estados cuánticos de un solo fotón o estados cuánticos entrelazados de dos o más fotones es técnicamente imposible. Lo que sí puede ser preparado y manipulado de manera fácil son paquetes (pulsos) de luz láser tradicional. Estos estados coherentes son llamados estados gaussianos (Ferraro *et al.*, 2005).

También se emplean estados del vacío exprimido de un modo o dos modos. Los cubits preparados a partir de la luz son sumamente apropiados para protocolos de comunicaciones cuánticas, tales como el Internet Cuántico (Yin *et al.*, 2020).

La razón es que se pueden transmitir a grandes distancias, además de que son relativamente sencillos de preparar.

ESTADOS GAUSSIANOS BIPARTITAS

La definición matemática de un estado gaussiano es todo aquel estado cuya función de distribución en el espacio de fase o su operador de densidad en el espacio de Fock tiene forma de una campana de Gauss. Los estados gaussianos son robustos para una variedad importante de protocolos de PIC. Casi todos de los más importantes experimentos de información cuántica han sido hechos con luz gaussiana. Dichos estados son un subconjunto de sistemas de variable continua, área de PIC que hace uso de observables físicos que toman valores continuos, tales como la intensidad de campo electromagnético.

En cierto sentido, la computación cuántica de variable continua es analógica, mientras que la computación cuántica usando cubits es digital. La primera hace uso de espacios de Hilbert de dimensión infinita, y la segunda emplea espacios de Hilbert de dimensión finita asociados a conjuntos de cubits. Los estados gaussianos son un recurso importante para la óptica cuántica (Weedbrook *et al.*, 2012). Las ventajas que ofrecen son que ellos pueden ser fácilmente descritos usando solo el desplazamiento y la matriz de covariancia, así como los primer y segundo momentos estadísticos de los operadores de cuadratura. Pero, sobre todo, son importantes para estudiar entrelazamiento.

Así, por ejemplo, para determinar el entrelazamiento de un sistema de dos sistemas de niveles, ha sido demostrado que con estados gaussianos bipartitas bimodales, separabilidad es equivalente a la transpuesta parcial positiva (Duan, 2000).

MATRIZ DE COVARIANCIA DE UN ESTADO GAUSSIANO BIPARTITA

Definamos matemáticamente la matriz de covariancia de un estado gaussiano bipartita, mediante la introducción del vector de operadores canónicos (notar la similitud de cuatro salidas lógicas con la definición de estado de dos cubits de la ecuación (2) en términos de los operadores modo y , asociados a los estados cuánticos de partículas de espín del tipo y del tipo y respectivamente:

$$\begin{aligned}x_a &= 1/\sqrt{2} (a_a^\dagger + a_a), \\x_b &= 1/\sqrt{2} (a_b^\dagger + a_b), \\p_a &= i/\sqrt{2} (a_a^\dagger - a_a), \\p_b &= i/\sqrt{2} (a_b^\dagger - a_b),\end{aligned}\quad (4)$$

En la ecuación anterior, $a_i^\dagger$ (a_i) es el operador para creación (aniquilación) del modo ($i = a, b$). Antes de proseguir observe que, en este punto, surge la siguiente pregunta: ¿Qué nos asegura que el estado bipartita gaussiano es un estado genuinamente cuántico? Para responder esta pregunta se definirá la matriz simpléctica

$$\Omega = \omega_a \oplus \omega_b \quad (5)$$

donde ω_a (ω_b) es una matriz dada por

$$\omega = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

La condición que define a los estados bipartitas gaussianos como estados genuinamente cuánticos es la siguiente:

$$[R_j, R_k] = R_j R_k - R_k R_j = i\Omega_{jk} \quad (j, k = 1, 2, 3, 4) \quad (7)$$

La respectiva matriz de covariancia asociada a un estado gaussiano cuántico bipartita será:

$$C = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \{\Delta R_1, \Delta R_1\} & \{\Delta R_1, \Delta R_2\} & \{\Delta R_1, \Delta R_3\} & \{\Delta R_1, \Delta R_4\} \\ \{\Delta R_2, \Delta R_1\} & \{\Delta R_2, \Delta R_2\} & \{\Delta R_2, \Delta R_3\} & \{\Delta R_2, \Delta R_4\} \\ \{\Delta R_3, \Delta R_1\} & \{\Delta R_3, \Delta R_2\} & \{\Delta R_3, \Delta R_3\} & \{\Delta R_3, \Delta R_4\} \\ \{\Delta R_4, \Delta R_1\} & \{\Delta R_4, \Delta R_2\} & \{\Delta R_4, \Delta R_3\} & \{\Delta R_4, \Delta R_4\} \end{pmatrix} \quad (8)$$

donde $\{\Delta R_j, \Delta R_k\} = \Delta R_j \Delta R_k + \Delta R_k \Delta R_j$, siendo $\Delta R_j = R_j - \langle R_j \rangle$ y $\langle R_j \rangle$ el valor promedio de R_j . Se define el valor medio como:

$$\bar{R} = |c_0|^2 x_a + |c_1|^2 p_a + |c_2|^2 x_b + |c_3|^2 p_b, \quad (9)$$

CODIFICACIÓN DE CUBITS POR ESTADOS GAUSSIANOS

La pregunta que surge es la siguiente: ¿de qué manera un estado gaussiano codifica un estado de dos bits cuánticos? La respuesta a esta interrogante



© **Javier Anzures Torres**. Serie "Accidentes",
tinta china y spray/papel, 65 x 50 cm, 2009.

radica en la observación de que un estado de dos qubits tiene cuatro diferentes salidas lógicas, como puede observarse de la ecuación (2). Dichas salidas lógicas son $\{|00\rangle, |01\rangle, |10\rangle, |11\rangle\}$. Pues bien, las cuatro cantidades de la ecuación (4), asociadas a un estado gaussiano, juegan el papel de las cuatro salidas lógicas asociadas a un estado de dos bits cuánticos. Por esto se puede decir que un estado gaussiano descrito por las cuatro cantidades $\{x_a, x_b, p_a, p_b\}$ codifica un estado de dos qubits. La siguiente pregunta es: en la imagen de la densidad de estados de la ecuación (3), ¿cómo se puede concluir que un estado gaussiano codifica un estado de dos bits cuánticos? La respuesta a esta pregunta es como sigue: las 16 diferentes entradas de la matriz de covariancia C de la ecuación (8) juegan el papel de las 16 diferentes entradas de la matriz de densidad de estados ρ de la ecuación (3). Para propósitos de comunicaciones cuánticas tales como el Internet Cuántico, el formalismo de estados gaussianos de la ecuación (8) es más fácil de manipular que el formalismo de la matriz de densidad de estados de la ecuación (3). Concluimos diciendo que la matriz de covariancia C y el valor promedio asociados a un estado gaussiano, codifican un estado de dos bits cuánticos.



© **Javier Anzures Torres**. Serie "Accidentes",
tinta china y spray/papel, 56 x 70 cm, 2009.

G L O S A R I O

Estados de vacío: ausencia de partículas en el sistema.

Espacio fase: grados de libertad de espacio y momento lineal permisibles para el sistema.

Espacio de Fock: sistema cartesiano de coordenadas cuyos ejes representan las posiciones y los momentos lineales del sistema de qubits.

Espacio de Hilbert: conjunto de estados cuánticos permisibles para el sistema.

Primer y segundo momentos estadísticos de los operadores de cuadratura: son los valores medios y las desviaciones cuadráticas medias en la ciencia de estadística.

Transpuesta parcial positiva: matriz cuyos valores propios son números reales positivos.

Vector de operadores canónicos: conjunto del total de primeros y segundos momentos asociados al sistema.

Partículas de espín 1: son cuerpos físicos cuyo momento angular de giro intrínseco vale 1.

Matriz simpléctica: matriz de información cuántica del sistema.

R E F E R E N C I A S

- Ferraro A, Olivares S and Paris MGA (2005). *Gaussian states in quantum information*. Bibliopolis, Napoli.
- Duan L-M, Giedke G, Cirac JI and Zoller P (2000). Inseparability criterion for continuous variable systems. *Phys. Rev. Lett.* 84(12):2722-5.
- Nielsen MA and Chuang I (2000). *Quantum computation and quantum information*. Cambridge University Press.
- Weedbrook C, Pirandola S, García-Patrón R, Cerf NJ, Ralph TC and Shapiro JH (2012). Gaussian quantum information. *Rev. Mod. Phys.* 84(2):621-669.
- Yin J, Li Y-H, Liao S, Yang M, Cao Y, Zhang L, Ren J-G, Cai W-Q et al. (2020). Entanglement-based secure quantum cryptography over 1,120 kilometres. *Nature* 582(7813):501-505.

Giselle N. Morales Rosales
Centro Universitario UAEM Valle de Chalco
giselle.mora17@gmail.com

Fabiola García Gutiérrez
Tecnológico Nacional de México
Tecnológico de Estudios Superiores de Ixtapaluca
fabiola_ingenf@hotmail.com

Manuel Ávila Aoki
Centro Universitario UAEM Valle de Chalco
manvfk@hotmail.com

Levaduras probióticas y proteína de papa, una opción para la nutrición animal

Samantha E. **Bautista Marín**
Konisgmar **Escobar García**

Desde 1940, los antibióticos han desempeñado un papel importante en la nutrición animal, ya que ayudan a controlar enfermedades y reducen la mortalidad. También se utilizan como promotores de crecimiento (APC), ya que en dosis subterapéuticas ayudan a mejorar el comportamiento zootécnico de los animales.

En la década de 1970 comenzó a preocupar el uso de los APC, ya que se detectaron problemas de resistencia bacteriana que, si bien afectaban a los animales, podían también afectar a la población humana como consumidores finales. Ello ha llevado a que algunos países prohíban el uso de antibióticos para evitar dichos problemas, por lo que los especialistas en nutrición animal han buscado alternativas al uso de los APC (Thacker, 2013).

Entre los beneficios que aporta el uso de antibióticos para la nutrición animal podemos mencionar una mejora en el consumo diario de alimento, la ganancia diaria de peso, la reducción de las bacterias potencialmente patógenas a nivel intestinal, lo cual favorece el establecimiento de microbiota benéfica, mejora la digestión y la absorción de nutrientes, beneficia la integridad y la salud intestinal, y disminuye las diarreas. Como resultado de lo anterior, los animales crecen más y la eficiencia alimenticia

mejorará en animales en etapas de transición, como el destete. Desafortunadamente, ninguna de las alternativas propuestas ha logrado superar el efecto de los APC; sin embargo, hay varias de ellas que logran resultados similares en diferentes aspectos benéficos para la producción animal.

Algunas de las alternativas que se han utilizado son: probióticos, prebióticos, simbióticos, extractos de plantas, minerales, enzimas, péptidos antimicrobianos, anticuerpos de yema de huevo (IgY), polisacáridos no amiláceos, concentrados de proteína vegetal, entre otros (Thacker, 2013).

En este trabajo nos enfocamos en los probióticos (levaduras) y concentrados de proteína vegetal (concentrado de proteína de papa).

LEVADURAS PROBIÓTICAS

Los probióticos son microorganismos vivos que proveen algún beneficio en la salud del hospedero cuando son administrados en cantidades adecuadas.

Existen varios tipos de probióticos, ya sean bacterias o levaduras; estos deben cumplir con ciertas características para poder ejercer su efecto probiótico:

- 1 Deben ser resistentes a medios ácidos y a la bilis.
- 2 Deben poseer una alta supervivencia y multiplicarse rápidamente en el tracto digestivo.
- 3 No deben ser patógenos ni tóxicos para el hospedero.
- 4 Deben poseer buena capacidad de adhesión a las superficies epiteliales.
- 5 Deben soportar la producción comercial, el procesamiento y la distribución, de manera que puedan llegar vivos al intestino.
- 6 Deben reducir el número de microorganismos patógenos en el intestino.
- 7 Deben producir sustancias antimicrobianas.

Los microorganismos intestinales cumplen diversas funciones para proteger la mucosa frente a infecciones de bacterias potencialmente patógenas. Los mecanismos de acción antes mencionados ayudan a mejorar el efecto de protección de la microbiota intestinal.

La microbiota intestinal ha sido propuesta como uno de los reguladores más relevantes de la respuesta inmune. Se han evaluado un gran número de microorganismos vivos que pueden beneficiar al hospedero en cuanto a salud y bienestar se refiere, de tal manera que pueda modularse la microbiota; uno de estos microorganismos son las levaduras del género *Saccharomyces* spp.

Saccharomyces spp es una especie de microorganismos eucariotas, característica que lo diferencia del resto de los probióticos; por lo tanto, los miembros de esta especie presentan diferente estructura y fisiología, son más grandes que las bacterias, no adquieren resistencia a los antibióticos y no son afectados por estos (Czerucka *et al.*, 2007).

Se ha observado que las preparaciones liofilizadas de esta levadura son mejores, pues su estabilidad puede afectar su eficiencia a lo largo del tiempo; son más estables a temperatura ambiente y mantienen alta viabilidad por periodos prolongados. Si el producto es secado al calor, es más sensible y deberá mantenerse en refrigeración, pues no son estables a temperatura ambiente.

No se recomienda la mezcla de probióticos, pues pueden existir antagonismos que atenúan los efectos benéficos de las diferentes cepas. La dosis empleada es importante, ya que puede afectar el

Características	<i>S. boulardii</i>	<i>S.cerevisiae</i>
Temperatura óptima de crecimiento	37 °C	30 °C
Pared celular	Gruesa	Delgada
Resistencia a cambios de pH	+	-
Viabilidad después de 15 min en pH ácido	75 %	30 %
Capacidad de crecimiento	Rápido	Lento
Capacidad de competencia con otros microorganismos intestinales	Alta	Media

Tabla 1. Características diferenciales entre *S. boulardii* y *S.cerevisiae*.

funcionamiento del probiótico, así como generar discrepancias en la eficiencia reportada en diferentes estudios (Kelesidis y Pothoulakis, 2012).

Existen dos cepas de levadura empleadas como probióticos: *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) y *Saccharomyces boulardii* (*S. boulardii*). Sus diferencias se resumen en la tabla 1.

S. boulardii ha sido empleada en humanos y ha generado beneficios importantes para la salud intestinal; mientras que *S. cerevisiae* ha sido ampliamente utilizada en animales domésticos.

Por su parte, *S. cerevisiae* posee una alta resistencia al estrés del tracto gastrointestinal, donde produce efectos como reducción de procesos inflamatorios, inhibición de la adhesión de algunas bacterias potencialmente patógenas como *E. coli*, *S. typhi* y *S. typhimurium*, evitando así su paso a través de la circulación intestinal al hígado, ganglios linfáticos mesentéricos y bazo. Esta levadura incrementa la producción de interleucina-10, así como de inmunoglobulina A secretora (IgA), previniendo la inflamación (Martins *et al.*, 2011).

Se ha demostrado que *S. boulardii* se une y neutraliza toxinas de bacterias intestinales potencialmente patógenas; afecta la respuesta inmune induciendo la secreción de inmunoglobulina secretoria A (IgA), factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), interleucinas (IL) (Czerucka *et al.*, 2007). Además, en experimentos conducidos por nuestro grupo de

trabajo se observó que reduce los niveles de citocinas proinflamatorias y promueve el crecimiento de células intestinales mejorando la digestión y absorción de nutrientes (Figura 1) (Bautista *et al.*, 2020).

Anteriormente mencionamos que las alternativas estudiadas para evitar el uso de antibióticos no compiten con estos, pero pueden reducir la presencia y severidad de los trastornos intestinales causados por el uso inadecuado de antibióticos. Los probióticos, al ser empleados adecuadamente y de manera rutinaria en la dieta de los animales, pueden favorecer el desarrollo morfológico y mejorar la salud intestinal.

CONCENTRADO DE PROTEÍNA DE PAPA

En fechas recientes se han aislado y caracterizado péptidos antimicrobianos (PAM) de tejidos y organismos de casi todos los reinos y filos. Plantas y animales están en contacto estrecho con bacterias y hongos desencadenando, en raras ocasiones, alguna enfermedad debido a la existencia del sistema de defensa antimicrobiana. Los PAM, que tienen actividad contra bacterias, hongos y bacilos, se encargan de eliminar o evitar el crecimiento de patógenos.

La papa posee varios PAM, como los inhibidores de proteasa que se acumulan en los tubérculos y hojas de las papas y actúan en respuesta a heridas mecánicas, radiaciones UV y lesiones hechas por insectos o microorganismos patógenos. Estos inhibidores median la defensa contra patógenos y organismos invasores.

Otro PAM, denominado defensina, se encarga de la formación de poros en la membrana bacteriana, lo que causa su despolarización, afecta el metabolismo de los patógenos y limita su capacidad de proliferación. Por último, la papa también posee dos tipos de PAM denominados snakins (SN-1 y SN-2), que han mostrado efectos contra hongos y patógenos bacterianos de plantas (Jin *et al.*, 2008). Particularmente, los snakins de la papa Jopung inhiben cepas de levaduras como *Candida albicans* y *Trichosporon beigelii* (Park *et al.*, 2005).

Vellosidades intestinales de lechones alimentados con antibióticos y probióticos

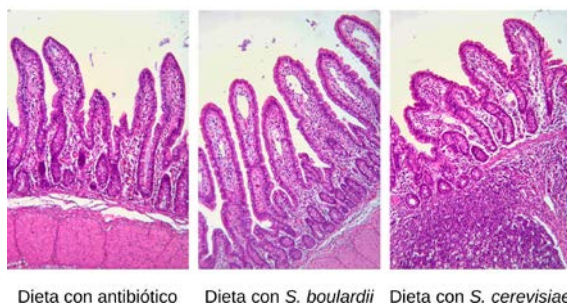
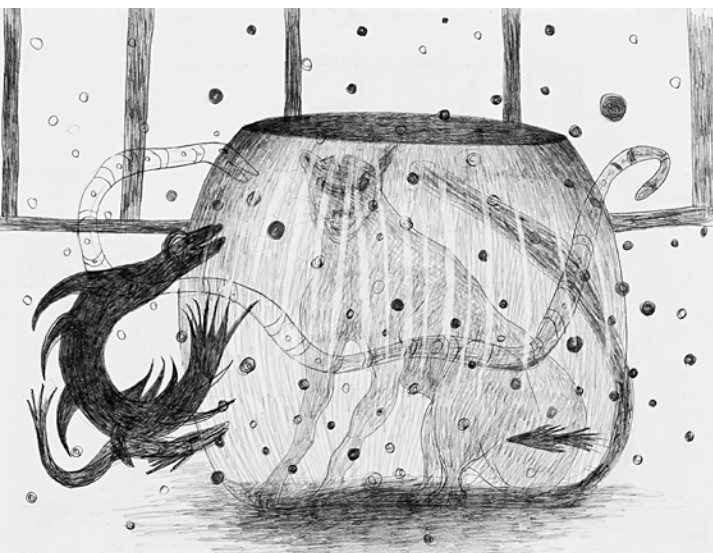


Figura 1. Diferencias en el desarrollo de las vellosidades intestinales de lechones recién destetados al utilizar levaduras probióticas. Se observa que los lechones alimentados con la dieta con antibiótico y con *S. boulardii* presentan las vellosidades intestinales más altas, mientras que los lechones alimentados con *S. cerevisiae* tuvieron menor tamaño.



© Javier Anzures Torres. Serie "Recuerdos", dibujo, 2012.

Aparte de los PAM, el concentrado de proteína de papa (CPP) también posee potamina-1 (PT-1), que inhibe a la tripsina y la quimiotripsina. También, muy probablemente, pueda desempeñar un papel en la regulación de la inflamación, en la reparación de tejido y en la defensa del hospedero (Kim *et al.*, 2005).

El CPP posee un alto valor nutricional, comparable con las proteínas de origen animal, debido a su contenido de aminoácidos y a su alta digestibilidad. Posee formas libres de aminoácidos, lo cual incrementa su valor. A pesar de su excelente calidad y la mejora que produce en la salud y de sus múltiples propiedades funcionales, CPP no es frecuentemente empleado como una alternativa al uso de antibióticos en animales, probablemente debido al costo que implica agregarlo a la dieta.

En resumen, de acuerdo con los resultados obtenidos por nuestro grupo de investigación, podemos concluir que ambas alternativas tienen tres características fundamentales: 1) modulan la producción y secreción de citocinas proinflamatorias, 2) favorecen la regeneración y la función de la mucosa intestinal, y 3) promueven el establecimiento de microbiota benéfica. Sin embargo, es necesario realizar estudios que ayuden a dilucidar los

mecanismos de acción de estas alternativas. No obstante, ante la inminente prohibición del uso de antibióticos como promotores de crecimiento, la mejor alternativa dependerá de la situación sanitaria, la economía, el nutriólogo y el propietario que, en conjunto, lograrán una mejora en la eficiencia y productividad de la unidad de producción.

REFERENCIAS

Bautista-Marín S, Escobar-García K, Molina-Aguilar C, Mariscal-Landin G, Aguilera-Barreyro A, Díaz-Muñoz M and Reis de Souza TC (2020). Antibiotic-free diet supplemented with live yeasts decreases inflammatory markers in the ileum of weaned piglets. *South African Journal of Animal Sciences* 50:353-365.

Czerucka D, Piche T and Rampal P (2007). Review article: yeast as probiotics- *Saccharomyces boulardii*. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* 26:767-778.

Jin Z, Yang YX, Choi JY, Shinde PL, Yoon SY, Hahn TW, Lim HT, Park Y, Hahm KS, Joo JW and Chae BJ (2008). Potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Gogu valley) protein as novel antimicrobial agent in weanling pigs. *Journal of Animal Science* 86:1562-1572.

Kelesidis T and Pothoulakis C (2012). Efficacy and safety of the probiotic *Saccharomyces boulardii* for the prevention and therapy of gastrointestinal disorders. *Therapeutic Advances in Gastroenterology* 5:111-125.

Kim JY, Park SC, Kim MH, Lim HT, Park YK and Hahm KS (2005). Antimicrobial activity studies on a trypsin-chymotrypsin protease inhibitor obtained from potato. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 330:921-927.

Martins FS, Elian SD, Vieira AT, Tiago FC, Martins AK, Silva FC, Souza EL, Sousa LP, Araújo HR, Pimenta PF, Bonjardim CA, Arantes RM, Teixeira MM and Nicoli JR (2011). Oral treatment with *Saccharomyces cerevisiae* strain UFMG 905 modulates immune responses and interferes with signal pathways involved in the activation of inflammation in a murine model of typhoid fever. *International Journal of Medical Microbiology* 301:359-364.

Park Y, Choi BH, Kwak J, Kang CW, Lim Ht, Cheong HS and Hahm KS (2005). Kunitz-type serine protease inhibitor from potato (*Solanum tuberosum* L. cv. Jopung). *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53:6491-6496.

Thacker PA (2013). Alternatives to antibiotics as growth promoters for use in swine production: a review. *Journal of Animal Science and Biotechnology* 4(35):1-12.

Samantha E. Bautista Marín
Konisgmar Escobar García
Laboratorio de Nutrición Animal
Licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro
samantha.bautista@uaq.mx

Neurofilosofía del yo

Autoconciencia e identidad personal

Francisco **Pellicer Graham**



NEUROFILOSOFÍA DEL YO
AUTOCONCIENCIA E IDENTIDAD PERSONAL

JOSÉ LUIS DÍAZ GÓMEZ

Ed. Bonilla Artigas Editores

Programa Universitario de Bioética, UNAM

Colección Bioética

México, 2022

Estoy ante la última entrega editorial de José Luis Díaz, obra extensa que de alguna forma hace acopio y destila el conocimiento que tiene en el ámbito del fenómeno de la conciencia, en esta ocasión enfocada a la autoconciencia, es decir a las raíces del Yo. Si bien el libro está constituido como un decálogo, estos diez capítulos son diez ensayos autocontenidos, pero también nos ofrece la transversalidad que conecta a la materia *core* del tratado; ese es, creo, uno de sus mejores atributos. Otro importante, me parece, es que es una obra que, por su escritura fluida y de lectura amigable, resultará interesante para un lector no totalmente relacionado con el tema. Lo que la convierte en una obra introductoria al mismo, pero también exige del lector, desde luego, interés y cierto grado de información o formación; de utilidad también para el especialista dada la sistematización de los ensayos y lo pulido de las tesis expresadas.

Por razones de tiempo y espacio, y tal vez porque están más cerca de mi quehacer e interés para esta glosa me enfocaré solamente en algunos de los conceptos expresados en el libro. El primero, “Sensibilidad”, es un capítulo fundacional, es decir, es una declaración de principios de carácter: epistémico, ontogénico, fisiológico, filosófico, del lenguaje, y más, con respecto al concepto *uno mismo*; en

él, se trata con acuciosidad los estamentos de tipo histórico-teóricos expuestos por varios autores que sentaron las bases de la autoconciencia. De este capítulo quiero resaltar el concepto de diacronía (Klein, 2014), que oportunamente expone J. D. Díaz, para puntualizar que el Yo del individuo es y se debe estudiar a través del tiempo, es decir, sí a la instantánea fotográfica, pero mejor a la película toda de lo que es el Yo y su historia, la cual nos pone en un terreno de búsqueda sobre las constantes esenciales, constitutivas de la autoconciencia a través del tiempo. Párrafos adelante, J. L. Díaz expone:

[...] el cuerpo viviente es un objeto espaciotemporal que permanece siendo el mismo por el tiempo que dure, a pesar de cambios en su composición y en su forma,

y luego agrega: “[...] el criterio naufraga si los cambios son demasiado rápidos o modifican la estructura de manera importante o definitiva”. A este respecto me vino a la mente un pequeño experimento teórico que si bien no resuelve el acertijo, propicia la reflexión y la búsqueda. Pienso en una oruga que salió de un huevo que puso un ángel; este último personaje llegará a escena en el desenlace; del huevo, cuatro días después de puesto, emerge una pequeña oruga dotada de la capacidad de trasladarse, alimentarse, medir y percatarse de los límites de su entorno, entre otras cosas. Durante un período de 9 a 15 días, la oruga cambia de piel en cinco ocasiones, dado que incrementa su masa corporal 2,000 veces, lo que deviene en una velocidad de crecimiento brutal. Posteriormente, la oruga inicia la construcción de una bolsa donde establecerá su morada durante 14 días más, para transformarse en crisálida. Una vez operada la transformación, la bolsa se rompe y emerge un ángel contraído, plegado. Este “otro” individuo bombea fluidos para desplegarse magnífico de forma, color, textura y hechura, radicalmente distinto a lo que eclosionó 30 días antes. El ángel se llama *Danaus plexippus*, y todos lo conocemos como mariposa Monarca.

La primera pregunta es: ¿el individuo oruga es el mismo que el individuo mariposa? Me refiero, de forma esencial, a si esta metamorfosis, radical en tiempo y forma, realmente hace naufragar, como dice Díaz, la premisa del diacronismo con respecto al Yo mismo. Más adelante, menciona:

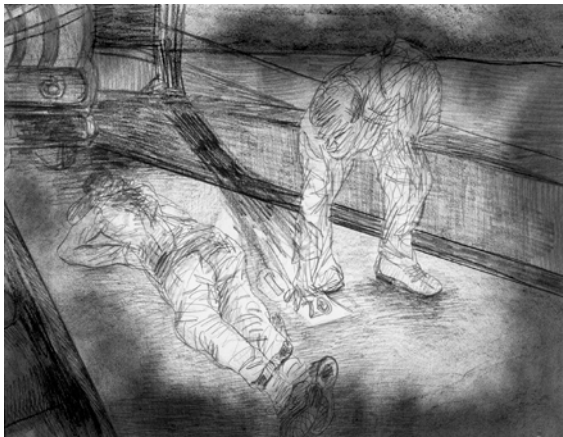
[...] si bien partes de mi cuerpo se pueden perder o ser reemplazadas sin que pierda mi identidad, una de ellas parece crucial para mantenerla y esa parte es... mi cerebro.

Con este planteamiento está claro que la esencia de la autoconciencia radicaría en el cerebro, de tal forma que, regresando a nuestro experimento, el sistema nervioso de la oruga claramente no es igual al sistema nervioso de la mariposa; sin embargo, le da origen. ¿Recordará la mariposa su pasado oruga? ¿Está en la radicalización del cambio la pérdida de la genitura? ¿Son realmente dos entidades –individuos– distintos? Es en esta línea finísima donde tenemos que plantearnos preguntas y tratar de encontrar respuestas.

Otro concepto fundamental tratado en este libro, es con qué infraestructuras del individuo podemos hacer autoconciencia. La corporalidad (capítulo II) implica la residencia del Yo mental y, claro está, su interconexión. Al respecto, J. L. Díaz puntualiza que no es una dicotomía; el pseudo dualismo cuerpo-mente lo trata como una entidad de compuestos distintos y esa entidad se logra mediante la fisiología, es decir, con receptores sensoriales que le dan al individuo la capacidad de percibir el medio ambiente externo y también su propio ambiente y situación internos.

El problema es que estamos acotados por el sistema sensorial que tenemos, el cual nos permite percatarnos de ciertos tipos de energías y no de otros, por lo que la construcción del entorno se realiza con estas limitantes, a lo que hay que sumar los autosensores, esos receptores que nos ubican a nosotros mismos con respecto a nosotros mismos y el entorno.¹

El último al que aludiré al respecto, como bien acota J. L. Díaz, es el sistema para percatarnos del



© **Javier Anzuers Torres**. Serie "Accidentes", tinta china y spray/papel, 50 x 65 cm y tinta china/papel 65 x 50 cm, 2009.



© **Javier Anzuers Torres**. Serie "Accidentes", tinta china/papel, 54 x 68 cm y 50 x 65 cm, 2009.

daño en el organismo, ya sea infligido desde el exterior o generado internamente. Este, desde mi punto de vista, es una ventana extraordinaria para evaluar la autoconciencia, pues en sus fallas, como ocurre en algunos síndromes de insensibilidad congénita al dolor² o la presencia de un miembro fantasma después de su amputación (tan doloroso como inexistente³) están algunas claves de la construcción del Yo donde intervienen ingredientes claramente somáticos, pero también genéticos y epigenéticos, lo que complejiza el concepto que da origen al libro. Estamos pues ante una obra vasta, colmada de información, pulcramente escrita, lque eclosiona como la crisálida aludida en un momento de crisis, pero también de esperanza para el campo de la conciencia.

LECTURAS RECOMENDADAS

- ¹ Pellicer Graham F (2011). Conciencia y Visión: la mirada dentro del ojo. *Ciencia* 40-47, octubre-diciembre.
- ² Pellicer F, Buendía-Roldán I and Pallares-Trujillo V.C (1998). Self-mutilation in the Lesch-Nyhan syndrome: a corporal consciousness problem? –a new hypothesis. *Medical Hypotheses* 50:43-47.
- ³ López-Avila A and Pellicer F (2001). Nuevas aproximaciones al problema del miembro fantasma. *Salud Mental* 3(24):29-34.

Francisco Pellicer Graham
Dirección de Investigaciones en Neurociencias
Instituto Nacional de Psiquiatría
Ramón de la Fuente Muñiz
pellicer@imp.edu.mx



© Javier Anzures Torres. Serie "Recuerdos", tempera/papel amate, 20 x 30 cm, 1981.



© Javier Anzures Torres. *Personajes conocidos en una noche de agosto*, óleo/tela, 200 x 190 cm, 1985.



Orquesta Sinfónica de la Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla OSBUAP... tu Orquesta

ENE / ABR

1ra TEMPORADA

de conciertos

2023

Director Artístico: David Pérez Olmedo.

22 "Gala de Ópera"

12:00 hrs
Auditorio del CCU - BUAP

Director Artístico OSBUAP
David Pérez Olmedo
Director Coro Sinfónico BUAP
José Antonio de la Rosa Esparza
Solista - Soprano
Diana Rojas Carreón

P R O G R A M A
Obertura Romeo y Julieta - P.I. Tchaikovsky
Coro a bocca chiusa - Ópera Madama Butterfly - G. Puccini
E Strano... Ah fors'è lui/Sempre libera - Ópera la Traviata - G. Verdi
Manon Je marche sur tous les chemins - Ópera Manon - J. Massenet
Coro Di Schiavi Ebrei - Ópera Nabucco - G. Verdi
Carceleras de "Las hijas de Zebedeo" - R. Chapí
Vedí! Le Fosche - Coro di Zingari - Ópera Il Trovatore - G. Verdi
Je veux vivre - Romeo et Juliette - Ch. Gounod
Brindis ópera Traviata - Verdi

15 "Los alientos y percusión de la OSBUAP y CECAMBA juntos"

19:00 hrs
Teatro del CCU - BUAP

Director Artístico OSBUAP -
David Pérez Olmedo
Solista
Liliana Mejía
(Percusionista OSBUAP)

P R O G R A M A
Sea Songs - V. Williams
Concierto para timbales y metales - P. Tanner
I. Fanfarria y Allegro
II. Intermezzo
III. Finale. Allegro Agitato
Primera Suite para banda militar op. 28 - G. Holst
I. Chaconne
II. Intermezzo
III. Marcha

16 "Hummel y el oboe"

19:00 hrs
Teatro del CCU - BUAP

Director invitado
Horacio Flores Pérez
Solista - Oboe
Gil Olivares Cortés -
(Principal de oboe OSBUAP)

P R O G R A M A
Obertura Nabucco - G. Verdi
Concierto para oboe y orquesta introducción,
tema y variaciones op.102 - J.N. Hummel
Sinfonía #104 - J. Haydn
I. Adagio
II. Andante
III. Minuet - Trio
IV. Finale. Spiritoso

02 "Requiem de Verdi"

Concierto especial

13:00 hrs
Auditorio del CCU - BUAP

Director Artístico OSBUAP
David Pérez Olmedo
Director Coro Sinfónico BUAP
José Antonio de la Rosa Esparza
Solistas invitados

P R O G R A M A
1. Requiem y Kyrie
2. Dies Irae
3. Domine Jesu
4. Sanctus
5. Agnus Dei
6. Lux aeterna
7. Libera me
G. Verdi

05 "Celebrando los 18 años de la OSBUAP"

13:00 hrs
Teatro del CCU - BUAP

Director Artístico OSBUAP
David Pérez Olmedo
Solista
Eduardo Medel
(Principal de trompeta OSBUAP)

P R O G R A M A
Danza Esclava 1 y 8 op. 46 - A. Dvorak
Concierto para trompeta en Eb - J. Haydn
Sinfonía #7 - L. V. Beethoven
I. Poco Sostenuto - Vivace
II. Allegretto
III. Presto
IV. Allegro con brio



OSBUAP

osbuapoficial

Entrada general \$50.00
Comunidad BUAP e INAPAM \$40.00