



LUCIDUM CIENCIA

Revista de **Divulgación Multidisciplinaria**
del Centro Universitario de la Costa

*Ciencias Exactas • Medicina y Salud • Humanidades y Conducta
Tecnología • Ciencias Sociales y Económicas
Ciencias Naturales y Agropecuarias • Ciencias de la Tierra y de la Atmósfera*



DIRECTORIO	Dr. Ricardo Villanueva Lomelí. <i>Rector General</i>
UNIVERSIDAD DE	Dr. Jorge Téllez López. <i>Rector del Centro Universitario de la Costa</i>
GUADALAJARA	Dr. José Luis Cornejo Ortega. <i>Secretario Académico</i>

Editor en Jefe

Dr. Fernando Vega Villasante

Consejo Editorial

Dr. Jorge Téllez López
Dr. José Luis Cornejo Ortega
Mtra. Mirza Liliana Lazareno Sotelo
Dr. José Carlos Cervantes Ríos
Dr. Fabio Germán Cupul Magaña
Dr. Rodrigo Espinoza Sánchez
Dr. Fernando Vega Villasante

Editores Asociados

Dra. Liza Danielle Kelly Gutiérrez. *Biología y Química*
Dra. Stella Maris Arnaiz Burne. *Turismo y Desarrollo Sustentable*
Dr. Jesús Cabral Araiza. *Ciencias Médicas y de la Salud*
Dr. Remberto Castro Castañeda. *Ciencias de la Conducta*
Dr. Luis Javier Plata Rosas. *Físico-Matemáticas y Ciencias de la Tierra*
Dra. Gabriela Andrea Scartascini Spadaro. *Educación y Humanidades*
Dr. Marco Antonio Delgadillo Guerrero. *Ciencias Sociales y Económicas*
Dr. Saúl Rogelio Guerrero Galván. *Biotecnología y Ciencias Agropecuarias*
Dr. Jorge Ignacio Chavoya Gama. *Ingenierías y Arquitectura*
Dra. Olimpia Chong Carrillo. *Multidisciplinaria*

**REGISTRO DE
ARTÍCULOS**

Cuidado de la Edición

fvillasante@cuc.udg.mx Lic. Laura Biurcos Hernández; Mtro. Francisco Gerardo Herrera Segoviano

LUCIDUM CIENCIA. Año 2, Núm. 3, enero-junio 2023, es una publicación semestral, editada por la Universidad de Guadalajara, a través de la Coordinación de Investigación y Posgrados, por la Secretaría Académica, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México; Tel: 322 226 2200, <http://www.cuc.udg.mx/es/revista-lucidum-ciencia>, fvillasante@cuc.udg.mx. Editor responsable: Fernando Vega-Villasante. Reserva de derechos al uso exclusivo del título 04-2023-021411551400-102, ISSN: en trámite, otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Coordinación de Investigación y Posgrados, del CUCosta. Av. Universidad #203, delegación Ixtapa, C.P. 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México, Fernando Vega-Villasante. Fecha de la última modificación 30 de junio de 2023.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la publicación.

Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad de Guadalajara.

Contenido

Editorial	3
Héroes sin capa: los organismos modelo Andrea Itzel Munguía Casillas, Luis Eduardo Ruiz González, y Saúl Rogelio Guerrero Galván	5
Serendipia y fotógrafos de la naturaleza Fabio G. Cupul-Magaña	14
La insoportable levedad del pescador: el dolor en peces Martín A. Aréchiga-Palomera, Fernando Vega-Villasante, Manuel A. Vargas Ceballos, Olimpia Chong-Carrillo, Karen N. Nieves Rodríguez, y Héctor Nolasco-Soria	21
Hannibal Peces: canibalismo y su efecto en la acuicultura César Antonio Sepúlveda-Quiroz, Carina Shianya Álvarez-Villagomez, Graciela María Pérez-Jiménez, Gloria Gertrudis Asencio-Alcudia, Luis Daniel Jiménez-Martínez, Omar Mendoza-Porras, Alfredo Pérez-Morales, Gabriel Núñez-Nogueira, Susana Camarillo-Coop, Susana De la Rosa-García, Rocío Guerrero-Zárate, Uriel Rodríguez-Estrada, Carlos Alfonso Álvarez-González, y Rafael Martínez-García	29
La historia de una cebra que es pez y, además, modelo Kevin Omar Ponce-Palomera, Saúl Rogelio Guerrero-Galván, Andrea Itzel Munguía-Casillas, Daniela Rodríguez-Partida	37
Arte, un conducto para la preservación del medio ambiente Ana Laura Lomelí Ocampo y Pavel López Cadena	44
¿Se ensuciará toda el agua del planeta? Saúl Rogelio Guerrero Galván, Kevin Ponce Palomera, y Liza Danielle Kelly Gutierrez	49

EDITORIAL

Vamos avanzando con buena fortuna en *LUCIDUM CIENCIA* y en este 2023, hemos ya cumplido y sobrepasado nuestro primer año de vida editorial. El proyecto de promover y difundir la divulgación de la ciencia, tanto dentro como fuera de nuestra alma mater, ha rendido frutos de un valor insospechado y que, ni siquiera los colegas que dimos inicio al mismo, podríamos haber vaticinado serían generados para su presentación en esta imberbe revista. Ha sido un proceso de aprendizaje para la mayor parte del equipo editorial, solo habituado al envío de manuscritos para su publicación en revistas científicas, pero con poca experiencia en el manejo de todo el andamiaje y recursos que exige una publicación de divulgación seriada. Sin embargo, la sapiencia de algunos de sus integrantes y el decidido apoyo de nuestro centro, ha permitido que lográramos vencer obstáculos y escalar paso a paso, poco a poco, el camino hacia la cima, que aunque aún se encuentra lejos, no es ya inaccesible. La consolidación de *LUCIDUM CIENCIA* se ve ahora como una meta factible. La generosidad de los autores y autoras de los artículos publicados en estos tres primeros números, ha sido indiscutible y, por demás, es ampliamente agradecidas. Nuestro primero conflicto mental, al inicio, fue el temor de no poder conseguir el suficiente “colchón editorial” que nos permitiera mantener un mínimo de artículos por cada número y que fue fijado, *a priori*, en seis manuscritos publicados semestralmente. La realidad nos llegó de golpe, pues alcanzamos esa cantidad desde el número 1 del 2022. Y, de hecho, en el número 2 de ese mismo año se tuvo la necesidad de limitar la publicación de algunos, para presentarlos en el primero del 2023. En ese tenor, es de justificada satisfacción constatar que *LUCIDUM CIENCIA*, no solo ha sido una vía para que los

profesores y profesoras del Centro Universitario de la Costa expongan sus conocimientos transmutados en manuscritos de divulgación científica, sino que ha sido un recurso editorial *ad hoc* para que académicos de otras instituciones nacionales presenten, de igual manera, sus contribuciones que abonan a fomentar este importante campo de la sabiduría comunitaria.

LUCIDUM CIENCIA agradece a todos aquellos que han permitido mantener su actividad con desinterés, profesionalismo y una gran paciencia. Estamos seguros de que con su apoyo decidido seguiremos creciendo en calidad y capacidad para lograr, en breve, el reconocimiento de la comunidad académica nacional y extranjera.

Dr. Fernando Vega Villasante
Editor en Jefe

Héroes sin capa: los organismos modelo

Andrea Itzel Munguía Casillas, Luis Eduardo Ruiz González,
y Saúl Rogelio Guerrero Galván

RESUMEN: Los organismos modelo son una pieza fundamental en el entendimiento de nuestro entorno, el ecosistema y las reacciones que pueden provocar ciertas sustancias y/o situaciones en el ser humano. Cada organismo modelo cuenta con características biológicas que facilita la obtención de resultados confiables en áreas como la farmacología, medicina, industria alimentaria, etc. Es gracias a estos seres vivos que podemos disfrutar de una alta variedad de productos en la vida cotidiana, de forma segura. La artemia, el pez cebra y la rana de garras africana son de los más utilizados. El primero, con un ciclo de vida corto y baja variabilidad genética, resulta idóneo para estudios básicos sobre la toxicidad de diferentes sustancias y compuestos. El segundo está bien establecido para el estudio del desarrollo en vertebrados, pues los efectos de las sustan-

cias probadas pueden observarse a nivel celular y genético en sus primeras etapas de vida. El tercero con un desarrollo de médula espinal muy rápido, embriones de gran tamaño y huevos transparentes, es perfecto para estudios de neurociencia. Estos modelos son susceptibles en la detección de alto rango. Es decir, que pueden reaccionar ante un gran número de agentes tóxicos, aunque estos se presenten en bajas concentraciones.

ORGANISMOS MODELO

No todos los superhéroes que existen son como los conocemos en los cómics, con capa que luchan contra el mal, existen superhéroes que muchas veces ni sabemos o somos conscientes de su existencia. Estos héroes son animalitos de diversos tamaños que nos ayudan a

Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México. andreamunguia.c@gmail.com; luiseruiz.gonzalez@gmail.com; guerre-ro_saul@yahoo.com.mx

mejorar nuestra calidad de vida: los organismos modelo.

Los organismos modelo se utilizan para realizar investigación experimental principalmente con fines clínicos y realizar ciencia básica, o en otras palabras, para entender el funcionamiento de la vida. Los organismos modelo permiten realizar comparación con los humanos y extraer situaciones como enfermedades, crecimiento y reproducción, entre otras. Así mismo, las características de la mayoría de estos es que son de pequeños tamaños, fácil mantenimiento, de ciclos de vida cortos y su material genético está codificado en gran parte o completamente.

El uso de los organismos modelos es sumamente importante para mejorar la calidad de vida, ya que, desde nuestra gestación estamos expuestos a diversos contaminantes químicos y va en aumento con el paso de tiempo, desde el agua que consumimos de manera cotidiana hasta el aire que respiramos cada segundo. Por ello, nos ayudan para tener más entendimiento de lo que nos rodea, así como la salud de los ecosistemas y la respuesta de estos organismos a ciertas sustancias y/o situaciones de nuestro entorno.

La ventaja de implementar organismos modelos es que se pueden realizar experimentaciones que requieran gran población con poco espacio, alimento y cuidados, en cortos períodos de tiempo. A pesar que la rama de biomedicina es la que más implementa el uso de organismos modelos, no es la única en usarlos. Actualmente otras ramas como ecología, toxicología, nutrición, entre otras, implementan el uso de organismos modelo para poder lidiar con problemas actuales y futuros.

Es importante saber que para la mayoría de lo que utilizamos para nuestra vida diaria (jabón, pasta de dientes, medicamentos, maquillaje, ungüentos, incluso ingredientes en alimentos y con lo que se desinfecta el agua) tuvo que primero pasar pruebas por organismos modelo para poder usarlos de manera segura o saber el impacto que tendría en nuestras vidas y/o al ecosistema.

Los estudios con organismos modelo van en cierto orden, desde los más pequeños y simples, como animales invertebrados (gusanos, moscas, crustáceos), hasta organismos más complejos y de mayor tamaño, como los mamíferos (principalmente ratones de laboratorio). Por cuestiones de bioética no se recomienda implementar estudios con organismos modelo de gran tamaño y con mayor percepción al dolor, como mamíferos, sin haber realizado pruebas previamente con organismos modelo de menor rango, principalmente invertebrados, esto con la finalidad de hacer respetar las tres erres de la experimentación animal. Algunos investigadores como Romero-Fernández, Alva Arroyo y Miras Lara, hacen énfasis en los cuidados que deben tener los animales como seres sensibles en la experimentación animal, respetar sus derechos y evitar estresar o dañar a los organismos, si bien podemos tener beneficio de ellos, debemos ser responsables y reducir el número de organismos sensibles utilizados.

Para cada uno de los organismos modelo se cuenta con bioensayos específicos de acuerdo con sus características. Estos bioensayos consisten en la exposición de un sistema biológico a un compuesto o sustancia y observar si tiene algún efecto sobre el mismo. Las pruebas más comunes involucran el uso de distintas

especies de organismos invertebrados como gusanos, larvas del mosquito *Aedes aegypti*, el camarón de salmuera *Artemia franciscana*, hasta especies de vertebrados como embriones de pollo *Gallus gallus domesticus*, *Danio rerio*, *Xenopus laevis*, y el ratón de laboratorio *Mus musculus*. Este último es uno de los modelos más conocidos y utilizados para evaluar la respuesta de un mamífero ante una determinada situación, como desarrollo de vacunas, medicamentos, productos de la industria cosmética, entre otros.

En los últimos años se ha tenido un aumento en el uso de algunos organismos modelo, a continuación, presentaremos tres organismos modelo que son mucho menos conocidos que el ratón de laboratorio y, actualmente, ha aumentado su uso para fines científicos. Viven entre nosotros con el disfraz perfecto de simples mascotas. Pero en secreto, arriesgan su vida todos los días en distintas áreas de inves-

tigación, en la búsqueda continua de mejorar las condiciones humanas.

EL EJÉRCITO DE LOS HEROICOS DRAGONES ACUÁTICOS, *Artemia franciscana*

El crustáceo *Artemia franciscana* (Figura 1), también conocido como camarón de salmuera o simplemente *Artemia*, es un crustáceo pequeño que se distribuye a lo largo del continente Americano. Esta especie vive en agua salobre y agua de mar, por lo que se encuentra en lagos salados y en salinas artificiales. Dentro de las características de este organismo, resalta que es un filtrador no selectivo, por lo que se alimenta de cualquier partícula de materia orgánica disponible en el medio. Su reproducción es ovovivípara, lo que significa que en condiciones normales las hembras depositan nauplios libres (estado larvario de *Artemia*) y

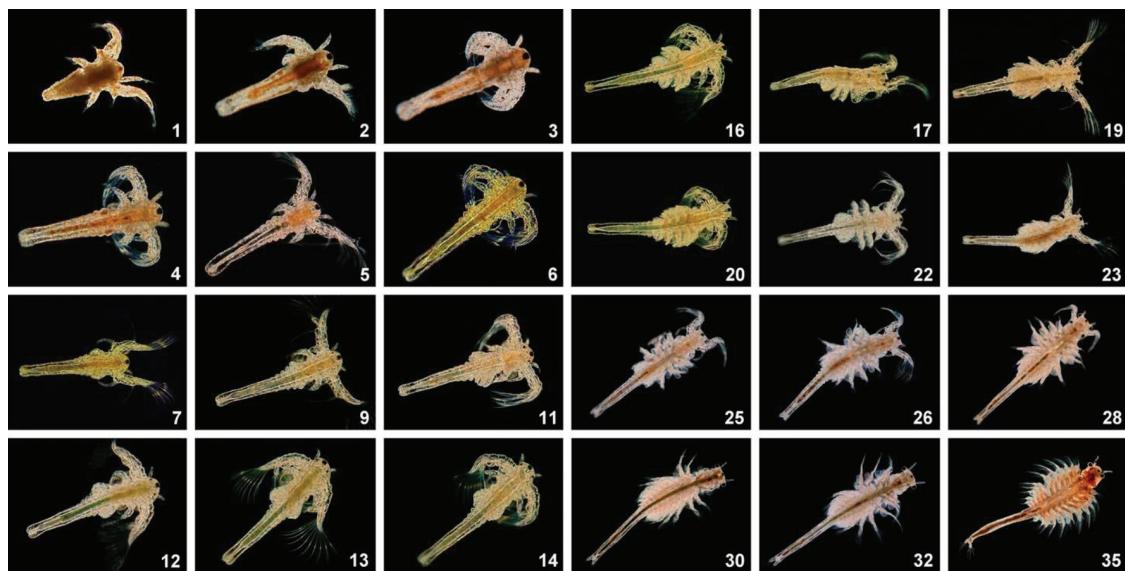


Figura 1. El camarón de salmuera, *Artemia franciscana*. Desarrollo a partir del día 1 hasta el día 35 después de la eclosión. El número en cada imagen representa la edad en días del organismo. Fotografía de: Piper, J. (2018). *Artemia: A model specimen for educational microscopy projects in biological and ecological fields*. *Microscopy Today*, 26(4), 12-19.

en condiciones no adecuadas para su desarrollo tiene la capacidad de producir en su lugar quistes que funcionan como una estructura de resistencia en la cual el metabolismo está completamente detenido (fase de latencia). Para obtener los nauplios de *Artemia*, basta con colocar los quistes 5 minutos en agua declorada para hidratarlos, posteriormente se traspasan a agua de mar, se propician aireación e iluminación constante, con ello la fase de latencia se rompe, el organismo retoma su desarrollo y en un tiempo de 16 a 24 h podemos obtener los organismos. Esto último facilita la distribución y utilización de *Artemia*, ya que los quistes pueden durar bastantes años. Actualmente, se comercializan quistes de *Artemia* para utilizarlos como mascotas o juguetes didácticos para niños, bajo diferentes marcas, con el nombre de Sea Monkeys o Dragones Marinos. Así mismo, se comercializan empaquetados para ser cultivados y otorgados como alimento vivo en la producción de larvas de peces y crustáceos dentro de la acuicultura.

Además, desde los años 50 se ha sugerido su utilización como organismo modelo para pruebas de toxicidad. Hoy en día se sabe que es un organismo modelo de amplio espectro, pues es sensible a un alto número de sustancias y compuestos de diferente origen, lo que lo convierte en una herramienta fundamental para los estudios de toxicidad. Lo anterior, debido a que se han obtenido buenos resultados en pruebas de mortalidad, como la prueba de concentración letal media (CL_{50}) donde se estima a qué concentración se afecta a la mitad de la población estudiada. Lo que demuestra que la *Artemia* es sensible a diferentes agentes tóxicos a bajas concentraciones y ha presentado una alta correlación de sus resultados

con los de otros organismos modelo como los embriones de pollo. También, se considera un estudio básico para justificar la utilización de otros organismos modelo más complejos y costosos, como es el caso de los modelos mamíferos. El ensayo de toxicidad con *Artemia* se ha aplicado en la evaluación de la toxicidad de extractos de plantas, detección de sustancias producidas por el metabolismo de hongos macro y microscópicos (metabolitos fúngicos), efectos adversos a nivel celular (citotoxicidad) de productos naturales marinos e incluso se ha utilizado para la detección de compuestos químicos como el dióxido de cloro en agua de mar. La gran aplicación de *Artemia franciscana* en este tipo de estudios se debe principalmente a que cuenta con una baja variabilidad genética, lo que permite tener organismos con características homogéneas e incrementar la replicación experimental. Ciclo de vida corto y tamaño pequeño (nauplios 0.5 mm y adultos hasta 20 mm de longitud), lo que facilita la obtención y mantenimiento de los organismos. Lo anterior junto con una buena adaptabilidad a diferentes condiciones abióticas y fuentes nutricionales, permite una disponibilidad continua de quistes y nauplios a bajo costo en comparación con otros organismos modelo.

En resumen, el ensayo con nauplios de *Artemia franciscana* puede ser una herramienta útil en la búsqueda de productos naturales novedosos debido a su alta aplicación en la detección de compuestos de diferente origen en bajas concentraciones. Además, los experimentos aplicados en esta especie poseen una gran reproducibilidad y se pueden evaluar las sustancias de interés sobre un número elevado de organismos.

UN HÉROE A RAYA: EL PEZ CEBRA, *Danio rerio*

Danio rerio o pez cebra (Figura 2) es un organismo vertebrado acuático de agua dulce, tiene un tamaño pequeño (23 a 40 mm), con coloración normalmente de rayas azules y amarillas como una cebra, originario del norte de la India, Bangladesh y Nepal, se encuentra en arroyos, ríos y humedales, cuerpos de agua de poca profundidad y aguas claras. Se alimenta principalmente de insectos pequeños y plancton,

aunque en cautiverio se alimenta con nauplios de *Artemia*, protozoarios de pequeño tamaño y alimento comercial en su etapa adulta. Tiene un ciclo de vida corto, su etapa embrionaria es de 3 a 5 días, su etapa larvaria un mes y alcanza la etapa adulta a aproximadamente los 3 meses de vida, dependiendo de los cuidados que se tengan a los organismos puede vivir aproximadamente 4 años. Durante sus primeras etapas de desarrollo es prácticamente transparente, lo cual permite facilitar la detección de malformaciones generadas por distintas

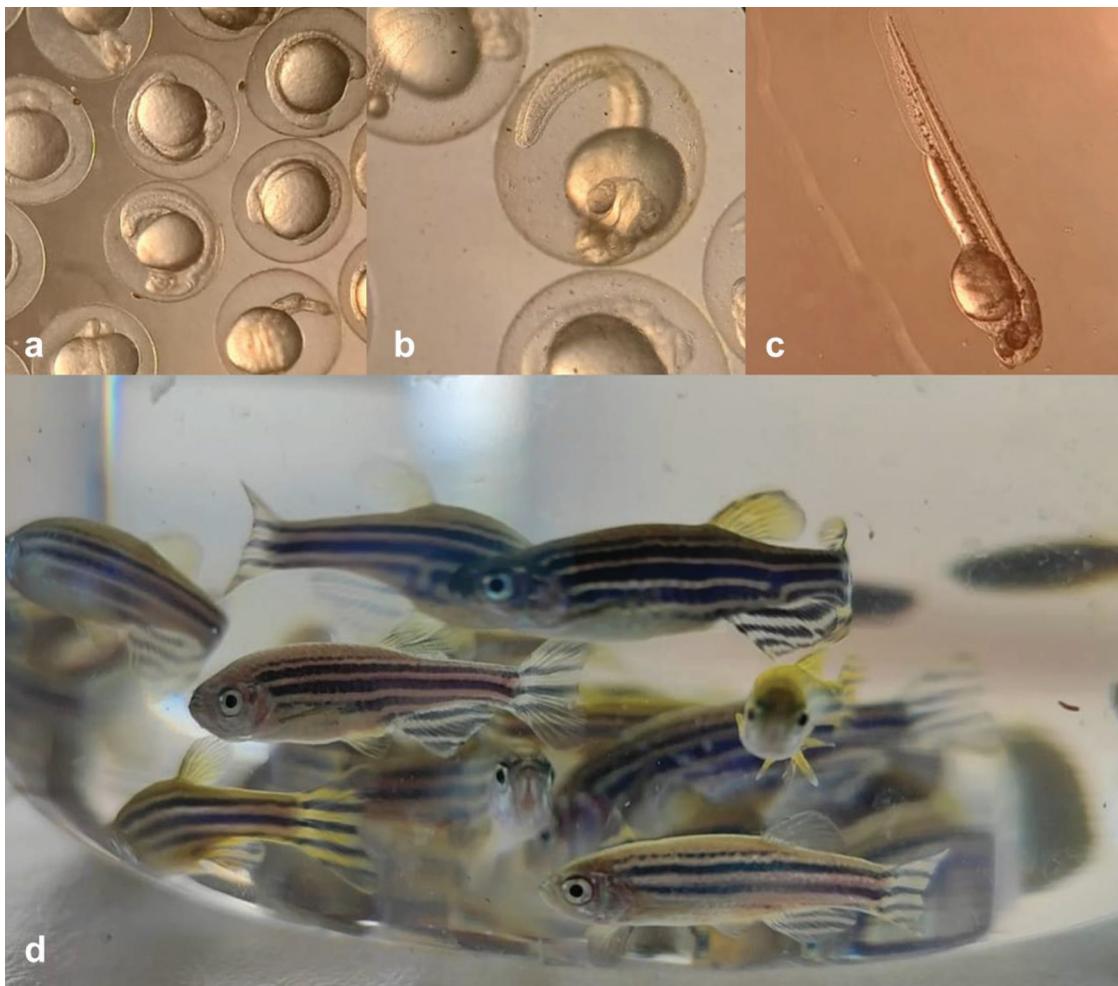


Figura 2. El pez cebra, *Danio rerio*: a y b) embriones de pez cebra a las 24 horas post fertilización. c) Alevín de pez cebra a 48 horas post fertilización. d) Pez cebra adulto a los 3 meses post fertilización. Fotografías de: a-c, Andrea Itzel Munguía Casillas; d, Kevin Omar Ponce Palomera.

sustancias. Es fácil de mantener y requiere poco espacio, permitiendo aproximadamente cinco organismos por cada litro de agua. Así mismo, cada hembra de pez cebra puede dar alrededor de 200 a 300 óvulos y el 90% de ellos serán fecundados, lo cual permite que se consigan bastantes organismos de estudio con pocos progenitores. El pez cebra es un organismo con una compatibilidad genética del 70% con el humano, presenta similitud a nivel fisiológico en su sistema nervioso central, sistema digestivo, hígado, páncreas y sistema cardiovascular. El pez cebra es un organismo ideal para hacer diversas pruebas que involucren efectos que tienen distintas sustancias en vertebrados, esto como segundo escalón experimental, después de haber realizado experimentación en organismos invertebrados como *Artemia franciscana*.

Algunos estudios que se han implementado que involucren al pez cebra como organismo de estudio datan desde el año 1930, sin embargo, en el año de 1970 comenzó el aumento del uso de *Danio rerio* como organismo experimental, alcanzando las 1,929 publicaciones para el año 2012.

Al principio el pez cebra era implementado únicamente para estudios de embriología y elementos que afecten su desarrollo embrionario, sin embargo, las ramas de estudio que utilizan a este organismo como modelo de estudio han aumentado, integrándose las ramas de nutrición, fisiología, biología celular, biología molecular, bioquímica, toxicología, neurología, genética y ecología. En los últimos años se ha implementado a *D. rerio* como modelo de estudio para cuestiones de ecotoxicología, más específicamente los efectos que tienen el estar expuesto a efluentes de aguas residuales trata-

das, esto para poder extraer lo que ocurre en el ecosistema acuático y como esto puede alterar las cadenas tróficas.

UN SUPERHÉROE SIN CAPA, PERO CON GARRAS, LA RANA *Xenopus laevis*

El *Xenopus laevis* o rana con garras africana (Figura 3) es un anfibio del orden Anura vertebrado acuático, tiene un cuerpo aplanado, de coloración gris a marrón verdoso y vientre pálido. Sus extremidades traseras son largas, robustas y con membrana, las delanteras son pequeñas y sin membranas, originario del sur de África, sin embargo, ya se ha introducido en otras regiones, por lo cual se considera especie invasora. Presentan dimorfismo sexual (diferencia entre machos y hembras), las hembras tienden a ser de mayor tamaño, aproximadamente 10 a 12 cm, mientras que los machos de 5 a 6 cm. Es un organismo ovovivíparo, los huevos tienen una medida de 1 mm de diámetro y es prácticamente transparente, lo cual permite que sea manipulado con mayor facilidad para hacer diversos estudios de embriología y manipulación genética. Su desarrollo se realiza en poco tiempo, para llegar a etapa larvaria requiere que pasen 36 horas y a los 12 meses ya alcanza la etapa adulta. Sin embargo, se puede acelerar el proceso con temperaturas más cálidas. El desarrollo de su médula espinal, es más rápido y simple que el de algunos organismos modelo mamíferos, como el ratón, lo cual es favorable para estudios de embriología y neurociencias. Su material genético ya está totalmente codificado y es la especie de *Xenopus* más estudiada en la rama de biomedicina.



Figura 3. Rana con garras africana, *Xenopus laevis*. Fotografía tomada de: Lobos, G., Vidal, M., Correa, C., Labra, A., Díaz-Páez, H., Charrier, A., Rabanal, F., Díaz, S., y Tala, C. (2013). Anfibios de Chile, un desafío para la conservación. Ministerio del Medio Ambiente, Fundación Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias de la Universidad de Chile y Red Chilena de Herpetología. Santiago. 104 p.

Algo curioso que tiene este organismo modelo es su capacidad regenerativa durante su desarrollo, lo cual representa una ventaja ya que permite una manipulación exitosa sin tanto riesgo de daños o identificación de elementos que favorezcan esta actividad regenerativa.

Dado a sus características y la cantidad de organismos existentes en el mundo, la rana es un organismo ideal para estudios de metamorfosis, regeneración, fisiología, ecología, evolución, embriología, endocrinología, toxicología y neurociencias. El uso de este organismo modelo data desde los años 1940, se utilizaba para hacer pruebas de embarazo que consistían en inyectar la orina de mujeres posiblemente embarazadas debajo de la piel de la rana, si la mujer estaba embarazada, la rana ponía huevos. En 1950 comenzaron los estudios de desarro-

llo embrionario y en 1990 fue cuando comenzó a implementarse en más estudios hasta la actualidad.

Hoy en día, la rana de garras africana es un organismo que se utiliza ampliamente y es de gran importancia científica, a pesar de ser de las menos conocidas por la población en general (comunidad no científica).

CONCLUSIÓN

Estos superhéroes sin capa sin duda han sido sustanciales a través del tiempo en el desarrollo de diferentes productos y servicios que tienen como finalidad mejorar las condiciones humanas. Es importante resaltar que, si bien no existe un organismo modelo que se pueda extrapolar en forma perfecta al humano, **sí**

existe una gran diversidad de modelos que nos brindan información con la cual se puede predecir el posible comportamiento de las sustancias probadas en otros organismos incluyendo al ser humano.

LITERATURA CONSULTADA

- Alfred, J., y Baldwin, I.T. (2015). The natural history of model organisms: new opportunities at the wild frontier. *eLife*, (4), e06956. <https://doi.org/10.7554/eLife.06956>
- Alva-Arroyo, N.V., García, R.T., Aldama, J.C.G., García, J.M.A., Ibarra, I.S., Sánchez, N.H., y De Alba, M.A.V. (2022). Aspectos responsables en la experimentación con animales en medicina. *Medicina e Investigación* de la Universidad Autónoma del Estado de México, 10(2), 49-55. <https://doi.org/10.36677/medicinainvestigacion.v10i2.20087>
- Blum, M., y Ott, T. (2018). *Xenopus*: an undervalued model organism to study and model human genetic disease. *Cells Tissues Organs*, (205), 303-313. <https://doi.org/10.1159/000490898>
- Borodinsky, L.N. (2017). *Xenopus laevis* as a model organism for the study of spinal cord formation, development, function and regeneration. *Frontiers in neural circuits*, 11, 1-9. <https://doi.org/10.3389/fncir.2017.00090>
- Cannatella, D.C., y De Sá, R.O. (1993). *Xenopus laevis* as a model organism. *Systematic Biology*, 42(4), 476-507. <https://doi.org/10.2307/2992485>
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*. Boston: Houghton Mifflin.
- Grainger, R.M. (2012). *Xenopus tropicalis* as a model organism for genetics and genomics: past, present, and future. *Methods Mol Biol.*, (917), 3-15. [10.1007/978-1-61779-992-1_1](https://doi.org/10.1007/978-1-61779-992-1_1)
- Harwig, J., y Scott, P.M. (1971). Brine shrimp (*Artemia salina* L.) Larvae as a screening system for fungal toxins. *Applied Microbiology*, 21(6), 1011-1016. <https://doi.org/10.1128/am.21.6.1011-1016.1971>
- Hickman, D.L., Johnson, J., Vemulapalli, T.H., Crisler, J.R., y Shepherd, R. (2017). Commonly used animal models. *Principles of animal research for graduate and undergraduate students*, 117-175. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802151-4.00007-4>
- Leonelli, S. (2013). Model organism. En W. Dubitzky, O. Wolkenhauer, K. H. Cho, y H. Yokota (eds.). *Encyclopedia of Systems Biology* (pp. 1398-1401). Springer.
- Lin, L., Yang, H., y Xu, X. (2022). Effects of water pollution on human health and disease heterogeneity: a review. *Frontiers in Environmental Science*, 10, 1-16. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.880246>
- Manosalidis, I., Stavropoulou, E., Stavropoulos, A., y Bezirtzoglou, E. (2020). Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in Public Health*, 8, 1-13. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00014>
- Miras-Lara, E. (2015, March). Experimentación animal, Real Decreto 53/2013. *DA. Derecho Animal. Forum of Animal Law Studies*, 6(1), 1-19. <https://raco.cat/index.php/da/article/view/349492>
- Ruiz-González, L.E., Vázquez-Zea, J.A., Vega-Villasante, F., Guzmán-Dávalos, L., y Guerrero-Galván, S.R. (2017). Evaluación del efecto tóxico de hongos Basidiomycota en la eclosión de quistes de *Artemia*

- franciscana. Revista Iberoamericana de Micología*, 34(04), 220-224. <http://dx.doi.org/10.1016/j.riam.2017.03.007>
- Romero-Fernandez, W., Batista-Castro, Z., De Lucca, M., Ruano, A., García-Barceló, M., Rivera-Cervantes, M., y Sánchez-Mateos, S. (2016). El 1, 2, 3 de la experimentación con animales de laboratorio. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 33(2), 288-299. <http://dx.doi.org/10.17843/rpmesp.2016.332.2169>
- Sorgeloos, P., Lavens, P., Lè, P., Tackaert, W., y Versichele, D. (1986). Manual para el cultivo y uso de *Artemia* en acuicultura. Consultado el 30 de octubre de 2022. <http://www.fao.org/docrep/field/003/ab474s/ab474s00.htm>
- Tenorio, P. (2016). Método de evaluación rápida de invasividad (MERI) para especies exóticas en México *Mucuna pruriens utilis* (L.) (en línea). Consultado el 15 de noviembre de 2022. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/222450/Xenopus_laevis.pdf

Serendipia y fotógrafos de la naturaleza

Fabio G. Cupul-Magaña

RESUMEN: El autor presenta ejemplos de algunos hallazgos que realizó sobre el comportamiento observado en aves, mamíferos y reptiles, los cuales, según lo expresa, fueron producto de la «casualidad» (la llamada serendipia) al observar, revisar y analizar algunas imágenes capturadas por las lentes de Frank Mc Cann y Petr Myska, destacados fotógrafos de la naturaleza en la región de Bahía de Banderas, en el occidente de México.

Una importante faceta de la actividad científica es la observación de los fenómenos que ocurren a nuestro alrededor. Estos se registran indirectamente (como lo menciona el físico y divulgador científico norteamericano Michio Kaku: «la mayor parte de nuestra ciencia más avanzada se lleva a cabo indirectamente. Conocemos la composición del Sol, la estructura detallada del ADN y la edad del universo a través de medidas de este tipo. Todo esto lo sabemos, a pesar de que nunca hemos visitado

las estrellas, entrado en una molécula de ADN o sido testigos del Big Bang») o directamente con instrumentos o nuestros propios ojos. Tampoco hay que olvidar que algunos otros fenómenos se explican teóricamente y, no conformes con ello, siempre se está en constante búsqueda de evidencias que los confirmen.

SERENDIPIA

Como investigador, aún disfruto contemplar con mis propios ojos la naturaleza con el mismo afán, creo, que tuvieron aquellos naturalistas de siglos pasados por descubrir facetas aún desconocidas de los seres vivos; es decir, la verdad sobre la naturaleza. Sin embargo, no siempre puedo salir al campo en expediciones de exploración o, a pesar de hacerlo, no cuento con la fortuna para observar el fenómeno anhelado. De hecho, a esta diosa fortuna para lograr el hallazgo escurridizo se le ha

Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco. fabio.cupul@academicos.udg.mx

llamado serendipia. El término fue acuñado en 1754 por el escritor británico Horace Walpole (1717-1797), para indicar la habilidad que tenían los protagonistas de un cuento persa para descubrir por accidente o sagacidad, cosas que no estaban buscando. (El cuento, «Los tres principes de Serendip», fue reescrito por Walpole y adaptado por Voltaire, 1694-1778. De esta narración derivan el término Serendip, antiguo nombre de Ceilán, la actual Sri Lanka, y el procedimiento de inferencias realizado por los principes).

Por extensión, la serendipia es un descubrimiento científico afortunado e inesperado que se ha realizado accidentalmente. Por ejemplo, una de las historias clásicas de serendipia es el descubrimiento accidental de la penicilina en 1928 por el médico británico Alexander Fleming (1881-1955), quien observó, después de tomarse unas vacaciones, cómo unas esporas de moho color verdoso contaminaron placas de cultivo olvidadas en su laboratorio e impidieron el crecimiento de bacterias que ahí se desarrollaban. Ante lo ocurrido, Fleming concluyó que el moho, la famosa penicilina, estaba produciendo «una sustancia mortal» para las bacterias en la placa. Por su parte, en el 2020, un grupo de investigadores descubrieron una especie de hongo parásito, que resultó ser nueva para la ciencia, al observar la foto de un milpiés mientras navegaban por el contenido de la red social de microblogeo Twitter. Curiosamente, los investigadores llamaron al nuevo hongo *Troglomyces twitteri* o «el hongo de cueva de Twitter».

Pero, la serendipia no solo se trata de andar buscando por aquí y por allá sin ton ni son, pues los descubrimientos pueden pasar de largo y desapercibidos frente a los ojos de los no

interesados, no aguzados o no entrenados en el tema específico de la investigación. Así, lo primero que se necesita es el material para revisar y, segundo, saber qué ver dentro de ese material. Como lo cita el desaparecido divulgador científico mexicano Dr. Ruy Pérez Tamayo (1924-2022), la serendipia es «la capacidad de hacer descubrimientos por accidente y sagacidad, cuando se está buscando otra cosa». Aquí, la sagacidad se aplica al individuo que realiza la observación casual y que cuenta con, no solo la habilidad de percibirse que realmente encontró algo valioso, sino de continuar o reorientar la investigación ante tal descubrimiento.

SERENDIPIA Y FOTOGRAFÍA

En mi quehacer científico, no puedo negar que he contado con gran dosis de serendipia. Sin embargo, estos gratos accidentes no hubieran ocurrido sin la colaboración desinteresada y generosa de dos extraordinarios fotógrafos de la naturaleza a vecindados en la región: Frank Mc Cann y Petr Myska. Frank (Figura 1), oriundo de la Ciudad de México (1954), cuenta con más de dos décadas de capturar, casi obsesivamente, imágenes de la diversidad de la Bahía de Banderas, las cuales no ha dudado en compartir con instituciones y especialistas enfocados a la divulgación y estudio de la naturaleza. Por su parte, Petr (1973; Figura 2) originario de la República Checa y con especialidades académicas en zoología, nació, como lo dice su profesor y amigo Jan Žďárek, para ser naturalista; inclinación que se refleja fielmente en la naturaleza inmortalizada por su lente.

Gracias a la habilidad y experiencia de Frank y Petr dentro de las técnicas fotográficas,



Figura 1. Frank Mc Cann, fotógrafo de la naturaleza (Foto cortesía: Frank Mc Cann).



Figura 2. Petr Myska, fotógrafo de la naturaleza (Foto cortesía: Petr Myska).

aunado al valioso tiempo que invirtieron a la espera del momento justo para oprimir el obturador de la cámara, he podido dar un vistazo a la intimidad de la naturaleza para descubrir un número significativo de comportamientos animales nunca antes vistos. Mi interés por sus fotografías ha sido principalmente por aque-

llas que muestran el comportamiento e interacción de aves, reptiles, anfibios, mamíferos, plantas y hasta artrópodos. No cabe duda que su pasión por fotografiar la belleza y majestuosidad de la naturaleza ha sido un auténtico oasis para desentrañar verdades sobre la historia natural de los seres vivos.

ALGUNOS SUCESOS SERENDÍPICOS

Entre los sucesos serendípicos que se han cruzado en mi camino gracias a sus fotografías, está aquel en el que descubrimos cómo la hembra de la tortuga mesoamericana *Trachemys ornata*, aprovechaba el momento justo en que la hembra del cocodrilo de río *Crocodylus acutus* excavaba su nido en el suelo y depositaba sus huevos, para colocarse junto a ella y hacer lo mismo (Figura 3). De esta forma, la tortuga trataba de asegurar un aumento en las expectativas de éxito de eclosión de sus huevos, al beneficiarse de los cuidados que la madre cocodrila brindaría tanto a su nido como al de ella para mantener a raya a los potenciales depredadores. Esta observación, registrada por primera vez, permitió comprender más sobre el comportamiento de anidación comunal en reptiles.

Curiosamente, el anterior y los siguientes eventos que se comentan, no ocurrieron en tierras lejanas, pues fueron atestiguados en distintas localidades urbanas de la ciudad de Puerto Vallarta, incluido el campo de golf Marina Vallarta y a lo largo de la costa de Jalisco. Precisamente, en la zona de Conchas Chinas, al sur de la ciudad, una foto que, en un primer vistazo solo delataba el ordinario mordisqueo de la ardilla colimense *Sciurus colliae* de la base del peciolo de una hoja joven del árbol trompetillo (*Cecropia obtusifolia*), resultó ser la evidencia del consumo de un complemento alimenticio de beneficio significativo para la nutrición del mamífero (Figura 4). La documentación de este comportamiento, probablemente evidenció la búsqueda que hizo la ardilla de los cuerpos de Müller, corpúsculos multicelulares en forma de huevo producidos dentro de una estructura lanosa del peciolo



Figura 3. Hembra de cocodrilo de río en su nido reciente y, bajo su cola, una hembra de tortuga a la espera de cavar el nido para depositar sus huevos (Foto cortesía: Frank Mc Cann).

llamada trichilia, los cuales son ricos en glucógeno, lípidos y proteínas.

Por otra parte, en muchas ocasiones el descubrimiento de un comportamiento no resuelve dudas, sino genera más preguntas. Esto ocurrió cuando revelamos el consumo de las flores liguladas (estructuras que se asemejan

al pétalo de una flor sencilla) de la inflorescencia (cabezuela) de la hierba de San Juan o del Toro *Tridax procumbens* por el pájaro colorín azulnegro *Cyanocompsa parellina* (Figura 5). El comportamiento observado es interesante, ya que de las flores se han extraído saponinas esteroidales que han demostrado afectar, tan-



Figura 4. La ardilla de colima en forrajeo de los cuerpos de Müller presentes en el pecíolo de una hoja joven del árbol trompetillo (Foto cortesía: Petr Myska).

Figura 5. El pájaro colorín azulnegro consumiendo las flores liguladas de la hierba de San Juan (Foto cortesía: Petr Myska).



to positiva (al actuar como inmunoestimulantes: sustancias que aumentan la capacidad del sistema inmunitario de combatir las infecciones y las enfermedades) como negativamente (pueden retrasar el crecimiento) a los animales que las ingieren. Así, este primer registro de la hierba de San Juan o del Toro como parte de la dieta de *C. parellina*, estimula la realización de estudios detallados para conocer el papel que la hierba desempeña en la nutrición, desarrollo, condición de salud y reproducción del ave.

PARA CONCLUIR

La habilidad técnica y el gusto por su profesión de Frank y Petr como fotógrafos de la naturaleza, generan imágenes que son una excelente fuente para el descubrimiento. Pero, para lograrlo, como bien cita la académica Marta B. Menéndez, se debe tener presente que el azar y la casualidad, por sí solas, no generan el descubrimiento, es menester contar con la habilidad de un sujeto para interpretar y descifrar la información escondida en un resultado inesperado. Lo anterior, se ajusta a la perfección a lo expresado por el famoso científico francés Louis Pasteur (1922-1895), sobre que «en el campo de la observación, la suerte solo favorece a la mente preparada». Con esta frase, Pasteur alude, no solo a la importancia de la preparación científica y académica, sino a la rigurosa aplicación del método en el ámbito de la observación científica a la hora de realizar un experimento, pues, si estamos atentos a todos los aspectos involucrados, seremos capaces de saber interpretar un fenómeno en su justa medida para explicarlo.

LITERATURA CITADA

- Coelho, F. (2018-2022). La suerte solo favorece a la mente preparada. Consultado el 24 de noviembre de 2022. <https://www.culturagenial.com/es/la-suerte-solo-favorece-a-la-mente-preparada/>
- Donoso, F.A., Neumann, B.M., y Arriagada, S.D. (2022). Fortuna y Serendipia: historia de algunos fármacos empleados en Cuidados Intensivos Pediátricos. *Andes Pediatrica, Revista Chilena de Pediatría*, 93(4), 591-598.
- Cupul-Magaña, F.G., y Myska, P. (2021). Forrajeo de *Cecropia obtusifolia* (Rosales: Urticaceae) por *Sciurus colliae* (Rodentia: Sciuridae) en Puerto Vallarta, México. *Mammology Notes*, 7(2), 1-6.
- Escobedo-Galván, A.H., Elsey, R.M., Mc Cann, F., Cupul-Magaña, F.G., y López-Luna, M.A. (2019). Putting eggs in one big basket: communal egg-laying between long-lived reptiles. *North-Western Journal of Zoology*, 15(1), 96-100.
- Kaku, M. (2022). La ecuación de Dios: la búsqueda de una teoría del todo. Debate.
- Mc Cann, F. (2014). Guía de las aves más comunes del estero / Guide to the common birds of the estuary. Editado por el autor.
- Menéndez, M.B. (2022). Serendipia. Descubrimientos e investigación. Casualidad o ciencia. Consultado el 23 de noviembre de 2022. https://www.academia.edu/49770707/Serendipia_Descubrimientos_e_investigaci%C3%B3n_Casualidad_o_ciencia
- Myska, P. (2007). Viva Natura - Field guide to the Amphibians, Reptiles, birds and Mammals of Western Mexico / Guía de campo

- de anfibios, reptiles, aves y mamíferos de México occidental. *Viva Natura*.
- Myska, P., y Cupul-Magaña, F.G. (2022). Pico-grueso Azul *Cyanocompsa parellina* comiendo flores de *Tridax procumbens*. *Revista Ecuatoriana de Ornitología*, 8(1), 21-23.
- Pérez-Tamayo, R. (1991). *Ciencia, paciencia y conciencia*. Siglo XXI editores.
- Santamaría, S., Enghoff, E., y Reboleira, A.S. (2020). The first Laboulbeniales (Ascomycota, Laboulbeniomycetes) from an American millipede, discovered through social media. *MycoKeys*, (67), 45-53.

La insopportable levedad del pescador: el dolor en peces

Martín A. Aréchiga-Palomera^{1,2*}, Fernando Vega-Villasante¹,
Manuel A. Vargas Ceballos¹, Olimpia Chong-Carrillo¹,
Karen N. Nieves Rodríguez^{1,2}, y Héctor Nolasco-Soria³

RESUMEN: La experiencia del dolor implica una serie de procesos complejos donde interviene tanto el sistema nervioso central como periférico. Algunos investigadores han señalado que el dolor implica un proceso conductual donde participan las emociones como lo es el miedo. Además, señalan que la psicología es fundamental para que un individuo pueda experimentar dolor, por tanto, los peces, que, al carecer de un cerebro complejo como el de la especie humana, no pueden sentir dolor. Contrario a esa tesis, otros investigadores parten del descubrimiento de las vías nociceptivas que están ligadas a los estímulos nocivos y que

responden al calor extremo, presión mecánica y químicos nocivos, y que, además, son fisiológicamente idénticos al de los mamíferos. Estos investigadores evidencian que los peces tienen la capacidad de aprender para evitar un estímulo nocivo asociado al dolor. La concepción del dolor por parte de la comunidad científica aún no llega a un consenso claro, sin embargo, la evidencia empírica y científica han demostrado que el daño físico en los organismos y el estrés producto de las malas prácticas en estos organismos debe ser evitado, y con esto se abordan dos puntos importantes, el bienestar animal de los organismos y las cuestiones éticas.

¹ Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Departamento de Ciencias Biológicas, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

² Programa de Posgrado BEMARENA. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

³ Laboratorio de Fisiología y Genómica Funcional. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. La Paz, Baja California Sur, México.

* palomera_29@hotmail.com

INTRODUCCIÓN

¿Realmente los peces pueden experimentar dolor? El tema se ha puesto en tela de juicio en las últimas dos décadas por la comunidad científica. El científico Key Brian en el 2016 en su trabajo comenta que los humanos podemos reportar sentir o sufrir dolor, ya que en los animales inferimos que el dolor existe a través de un comportamiento no verbal, dando pie a que posiblemente los peces no experimenten sufrir dolor. Sin embargo, la Asociación Internacional para el Estudio del Dolor (IASP, por sus siglas en inglés, 1979) menciona que la incapacidad de comunicarse verbalmente no niega la posibilidad de que un individuo esté experimentando dolor. Por su parte, la Real Academia Española define el dolor como una «sensación molesta y afflictiva de una parte del cuerpo por causa interior o exterior». Es clara la conceptualización humana y subjetiva, que corresponde a «la sensación molesta». La sensación por sí sola solo es explicada a nivel celular y molecular, pues la definición de dolor –que implica molestia y emociones– va más allá de estos niveles de organización de la materia orgánica, refiere sobre las bases neuroconductuales, propiamente de organismos superiores como son los mamíferos, que poseen un sistema cerebral capaz de procesar información de estímulos e interpretarlos a base de una conciencia que subyace, según los últimos hallazgos científicos, en diferentes regiones del córtex cerebral.

Y aquí se abre una interrogante ¿Los peces poseen un cerebro que sea capaz de procesar y experimentar el dolor a un estímulo nocivo? De hecho, esta pregunta es la que la comunidad científica a discutido en los últimos años.

Por ello, aquí dividimos dos bandos, los científicos que argumentan que los peces no sienten dolor (grupo sin dolor), y los que dicen que sí (grupos con dolor). Vamos a empezar con los que dicen que los peces no pueden experimentar dolor...

LA CORTEZA CEREBRAL ES NECESARIA PARA EXPERIMENTAR DOLOR

Este grupo de investigadores sostienen que se requiere de un córtex cerebral para que el dolor pueda ser experimentado, por tanto, los peces que, al carecer de este córtex, no pueden experimentar dolor. Así mismo, descartan la posibilidad de que el dolor pueda ser procesado a nivel subcortical (o en otras áreas cerebrales que sí puedan estar presentes en los peces). Esto lo argumentan en que está demostrado que la ablación completa del córtex produce como resultado la pérdida completa de la percepción sensorial consciente y la pérdida de unas estructuras cerebrales ubicadas en el tálamo que evitan la sensación de dolor, y por este motivo, el córtex cerebral es el encargado de experimentar el dolor. En general, se infiere que los peces no pueden sentir dolor porque no tienen el cerebro para ello. Esas conclusiones refieren a la subjetividad del dolor, pues comentan que un estado subjetivo explícito requiere de un sujeto psicológico conceptual para generar sentimiento. En pocas palabras, para este grupo de científicos los peces no sienten dolor por carecer de cerebro complejo y de un desarrollo psicológico que los convierta en seres subjetivos.

Si bien los peces no tienen un cerebro complejo como los mamíferos, no se ignora

el hecho de que los peces tengan un sistema nervioso que sea capaz de detectar estímulos nocivos, y, por lo tanto, que manifiesten una respuesta conductual a ese estímulo. Contrario a los que piensan que los peces sienten dolor, muchos de ellos entienden el dolor como una respuesta sensorial rápida al daño tisular, donde esta experiencia no está directamente relacionada con el córtex cerebral, sino que está ligada inmediatamente al daño físico que resulta en una respuesta innata. A sí mismo, este primer grupo de investigadores sostienen que en dolor están sumadas las emociones y la comprensión subjetiva de las personas en torno a un evento nocivo como lo es el dolor.

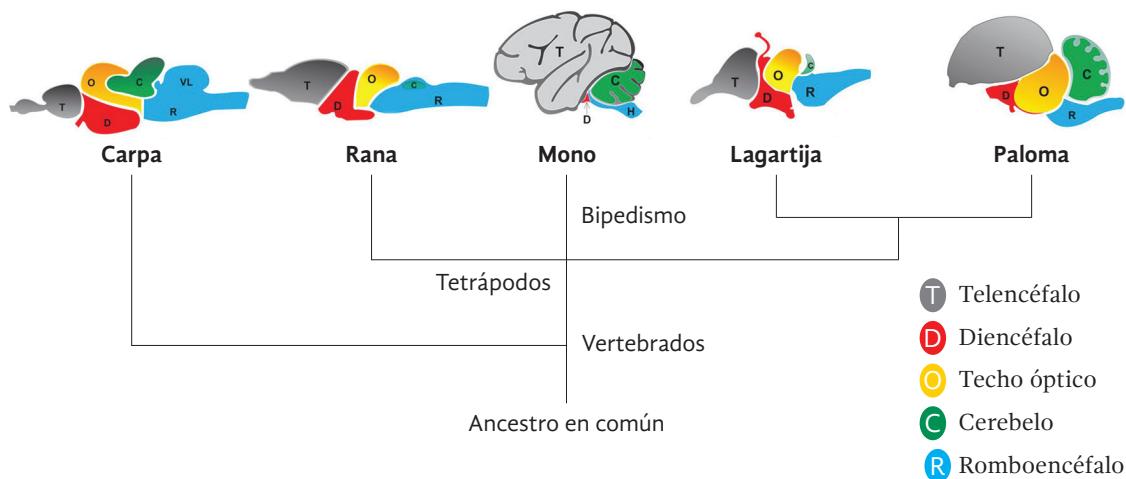
Sumado a lo anterior, el grupo sin dolor mencionan que en los peces no estarán involucrados en sensaciones negativas identificables que generen miedo y preocupación. Sin embargo, a su vez no descartan que los peces, al reaccionar a un estímulo ambiental (cambios de temperatura, salinidad, luz, de pH) puedan generar un comportamiento aprendido, desconectado de la psicología del yo, diferente a lo que experimentamos los humanos.

Entonces, si los peces no tienen la capacidad de tener una conciencia que les permita generar emociones, miedo y preocupación ante el dolor, ¿queda concluido este hecho? No, pues del otro bando de científicos parten del descubrimiento de vías nociceptivas presentes también en mamíferos que están relacionadas con el dolor. Estas vías tienen conexiones funcionales con el tegumento de peces, que a su vez se combinan con cambios adaptativos en el comportamiento en respuesta a una estimulación nociva. Estos comportamientos son interpretados por algunos científicos como apoyo a una experiencia de dolor en los peces.

Ahora ya podemos identificar dos tesis sobre el dolor, la primera que se inclina en darle un sentido humano al dolor, que involucra necesariamente a la psicología para generar una experiencia subjetiva: emociones, temores, entre otros, mientras que la otra vertiente se apoya en un concepto objetivo y voluble del dolor que puede no solo aplicar a la especie humana, sino también a otros mamíferos como lo son primates, perros y gatos, o inclusive también a peces.

EL DOLOR NO SOLO ES UNA EXPERIENCIA SUBJETIVA

Hemos visto los principales puntos de los científicos que apoyan de que el dolor no existe en peces, ahora es justo darle lugar a los argumentos de aquellos que mencionan que el dolor sí puede ser experimentado en estos organismos. Dentro de este bando, encontramos a la investigadora Lynne Sneddon (2009), ella conceptualiza el término «dolor» desde una perspectiva diferente, comentando que el dolor en los animales se puede considerar como «la percepción y la experiencia sensorial aversiva de un estímulo nocivo asociado con una lesión potencial o real». Se infiere que el animal obtiene un aprendizaje por ese estímulo nocivo, por lo que su reacción es meramente Darwiniana, que es el de generar un comportamiento de huida o protección con el fin de prevenir un potencial daño o inclusive el de atentar contra la propia supervivencia del mismo. Lo siguiente que va a venir a decir Sneddon es completamente crítico y fuerte para aquellos que sostienen que el dolor en peces no existe. Ella comenta que el argumento central del bando contrario basa sobre la ana-



T Telencéfalo. Esta estructura también suele llamarse cerebro. En primates y humanos es la región más grande del encéfalo y tiene funciones importantes en la percepción sensorial, el aprendizaje, la memoria y el comportamiento consciente. Si realizamos una comparación desde peces hasta mamíferos, el tamaño del telencéfalo se incrementa en tamaño y complejidad, un proceso evolutivo llamado telencefalización (1).

D Diencéfalo. El diencéfalo cumple la función de transmitir información desde el sistema sensitivo a sus respectivos destinos encefálicos. Como ejemplo están las señales al tacto, la presión, el dolor como la temperatura del cuerpo. También se le relacionan funciones como la alimentación, la conducta sexual, emocional y funciones endocrinas (2).

O Techo óptico. Esta estructura también recibe el nombre de tectum o tubérculos bigéminos, integrado por dos núcleos. Está relacionada con funciones sensoriales y oculares (3).

C Cerebelo. Esta estructura posee células neuronales que están relacionadas con la postura y el movimiento. Una distintiva clara de esta estructura es que si hacemos un corte sagital nos dará una apariencia de «árbol de la vida» (4).

R Romboencéfalo. También llamado cerebro posterior. Se puede dividir en tres partes, el metencéfalo, rostral, y el milenéfalo, caudal, este último continúa con la médula espinal (*H, cerebro de mono). En general también se incluye al cerebelo como parte del romboencéfalo (5).

(1) Sadava, D., y Purves, W. H. (2009). *Vida: La ciencia de la biología*. Médica Panamericana.

(2) Kolb, B., y Whishaw, I. Q. (2006). *Neuropsicología humana*. Médica Panamericana.

(3) Slater, P. J. (2000). *El comportamiento animal*. Ediciones AKAL.

(4) López, L. P., Pérez, S. M., y de la Torre, M. M. (2008). *Neuroanatomía*. Médica Panamericana.

(5) Nieuwenhuys, R. (2009). *El sistema nervioso central humano* (vol. 2). Médica Panamericana.

Figura 1.

Kawakami, K., y Murakami, Y. (2017). Preface to Vertebrate Brains: evolution, structures and functions. *Development, Growth & Differentiation*, 59(4), 160-162.

Murakami, Y. (2017). The origin of vertebrate brain centers. En *Brain Evolution by Design* (pp. 215-252). Springer.

tomía del cerebro, específicamente en comparación con los humanos y peces. Agrega que, este argumento no solo desafía las leyes de la evolución, al sugerir que una función surge repentinamente sin un ancestro primitivo, lo que significaría que tantos perros, gatos, aves y otros vertebrados son incapaces de experimentar dolor.

Por ello, este grupo de científicos comentan que es más razonable ver el dolor como una experiencia más rudimentaria y quizás considerar el dolor en animales como un escalón móvil dentro de la filogenética animal. A la luz de la evolución podemos ver ejemplos que puedan evidenciar este hecho, tan solo pensar en los caracteres homólogos como lo son las extremidades torácicas de las ballenas, aves, perros o humanos, o de aquellos rasgos de comportamiento que cumplen diversas funciones biológicas como lo son las de reproducción o comunicación, o el de los comportamientos aprendidos que no necesariamente posibiliten el hecho de que obligadamente tengan que ser de manera purista y conceptual a las que experimentan los humanos.

LAS VÍAS NOCICEPTIVAS

Habíamos comentado la tesis de que los peces al carecer de neocórtex cerebral no podrían desarrollar la experiencia de dolor como sucede en humanos. Sin embargo, ahora vamos a ver que fuera de esta región existen unas vías en el sistema nervioso presentes tanto en peces como en mamíferos, estas vías son llamadas nociceptivas y están relacionadas con los estímulos nocivos, sean mecánicos o químicos que impliquen un daño tisular. En estas vías, la entrada de la señal, es decir, del estímulo

nocivo, es recibido por los nociceptores. Estos fueron caracterizados en peces en el año 2002, y posteriormente se descubrió que estos son fisiológicamente idénticos a los de los mamíferos, respondiendo al calor extremo, presión mecánica y químicos nocivos.

En conjunto con los nocireceptores, los siguientes descubrimientos que ahora vamos a platicar dan mayor evidencia a la presencia de dolor en peces. En los mamíferos existen unas moléculas llamadas sustancias endógenas, que junto con los receptores opioides se les ha relacionado en la participación de la regulación del dolor y en la nocicepción corporal, y hasta hace algunos años, los científicos descubrieron receptores opiáceos y opioides en el cerebro de los peces, así como sustancias similares a las encefalinas endógenas (presentes en los humanos) en el pez dorado y en la trucha arcoíris.

La idea de que el dolor estaba centrado solo en el cerebro infería que las respuestas a la nocicepción en los peces eran simplemente reflexivas y que no iban más allá de la médula espinal o del cerebro mismo. Sin embargo, como lo hemos visto, esta idea poco a poco pierde fuerza, pues en recientes estudios encontraron la existencia de actividad eléctrica inducida por estimulación nociva en áreas del cerebro llamadas prosencéfalo y mesencéfalo en el pez dorado (*Carassius auratus*) y en el salmón del atlántico (*Salmo salar*). Además de esto, los investigadores encontraron que, de acuerdo al tipo de estímulo, la actividad eléctrica es diferente en estas zonas cerebrales, derivado justo por la comparación entre un tacto simple frente a uno potencialmente nocivo y doloroso hacia los peces.

CAMBIOS DE COMPORTAMIENTO Y FISIOLÓGICOS

Está demostrado que los peces tienen la capacidad de aprender para evitar un estímulo nocivo, esto refiere específicamente a estudios de condicionamiento clásico donde utilizan como refuerzo negativo un estímulo potencialmente doloroso. Estos estudios demuestran que los cambios en el comportamiento de los peces indican una función protectora de supervivencia en respuesta a un estímulo nocivo asociado con la experiencia sensorial. Un ejemplo de esto son los trabajos en acuarios experimentales donde organismos de pez dorado aprenden a evitar un shock eléctrico, a su vez, otro grupo experimental de peces no aprendieron a evitar este estímulo cuando recibieron morfina como analgésico. Hasta este momento quedaba claro aquí que la estimulación nociva se presenta como un indicador fiable para la consolidación de la memoria de estos peces, sin embargo, aún quedaba la duda sobre si estos comportamientos eran solo simples reflejos.

El yin y el yang, la anestesia y el dolor en peces

La anestesia inducida en peces es una evidencia más que exhibe la neurofisiología del dolor en peces, una dualidad entre el dolor y la analgesia, dos fenómenos o fuerzas opuestas presentes en estos organismos, similar a lo que manifiesta la tradición filosófica del taoísmo de la cultura milenaria China.

Para esto, con el pez cebra (*Danio rerio*), la carpa común y con la trucha arcoíris se reforzó que estos comportamientos no eran simples reflejos, pues estos peces experimentaron una estimulación nociva con cambios inmediatos

en su fisiología y comportamiento que persistió hasta por 6 horas. Otro estudio que se puede citar de esto es el trabajo con la trucha arcoíris, donde estos peces recibieron una inyección con ácido acético diluido en los labios. Los científicos observaron que los peces frotaban sus labios contra sustratos disponibles. A otro grupo de peces se les inyectó una solución salina que no mostró ese comportamiento anormal en los organismos, que puede haber tenido la función de reducir la intensidad de la sensación nociva, como ha sido descrita en humanos y mamíferos que frotan un área afectada con el fin de reducir el dolor.

Por otra parte, los investigadores también han encontrado evidencia a nivel de la fisiología respiratoria. Encontraron que los peces que experimentan un estímulo nocivo muestran un aumento dramático en la tasa de ventilación branquial (número de latidos branquiales por minuto); en la trucha y el pez cebra, por ejemplo, los latidos casi se duplican con respecto a los niveles normales.

IMPLICACIONES EN LA VIDA PRÁCTICA

En los últimos años ha ido en auge en la población científica, política y civil que diversas organizaciones, instituciones y entes gubernamentales hayan puesto ya en marcha leyes que aseguren el bienestar animal. En la industria acuícola es bien sabido que peces estresados son candidatos a desarrollar posibles enfermedades que pueden terminar con la muerte de grandes volúmenes y pérdidas millonarias para los productores. Por ello, asegurar las condiciones de vida en los tanques de producción son necesarios y obligados para asegurar

un buen estado de salud en los organismos que generen un crecimiento adecuado y rápido a tallas comerciales. Por otro lado, en la pesca es donde posiblemente se encuentre un mayor enfrentamiento en cuánto a la interrogante de si los peces puedan o no experimentar dolor. Si pudiésemos asomarnos a la otra cara de la moneda, podríamos observar que no se trata justamente de negar la evidencia científica, sino que pueda ser cegada por ciertos intereses de la misma industria pesquera que genera ganancias multimillonarias que están por encima del bienestar y/o del maltrato animal.

En la academia, algunas revistas científicas dentro de sus lineamientos para poder publicar, solicitan ya una carta de autorización de algún comité evaluador de bienestar animal, que incluye el manejo, experimentación y sacrificio de animales. Es común ya encontrar publicaciones científicas no solo de peces, sino inclusive de crustáceos donde hacen uso de anestésicos para practicar la muerte sin dolor (eutanasia) o para realizar prácticas de manejo como lo son toma de muestras, biometrías o transporte de organismos. Sin embargo, aunque ya se estén realizando prácticas de muerte sin dolor por un gran grupo de investigadores, específicamente en peces, el debate y la duda aún persistirá hasta que los investigadores logren llegar a un consenso científico sobre la definición de «dolor» y del bienestar animal de estos organismos.

COMENTARIOS FINALES

La evidencia científica es clara al demostrar la presencia de vías nociceptoras, incluyendo los cambios en el comportamiento y en la fisiología de los peces, ligados todos estos en cierta

medida al dolor. Por ello, el daño físico en los organismos y el estrés producto de las malas prácticas en estos organismos debe ser evitado, y con esto se abordan dos puntos importantes, el bienestar animal de los organismos y las cuestiones éticas y morales, que, a juzgar, en la actualidad ambas cargan con un peso grande e importante en las actividades tanto de investigación como en la práctica diaria que involucra el trabajo con peces.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo en la redacción por parte del Comité de Bienestar Animal del Centro Universitario de la Costa de la Universidad de Guadalajara.

Los comentarios expresados aquí son responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan la posición oficial de la revista *Lucidum Ciencia* o de alguno de sus integrantes del Consejo Editorial.

LITERATURA RELEVANTE

- Bekoff, M., y Sherman, P.W. (2004). Reflections on animal selves. *Trends in ecology & evolution*, 19(4), 176-180. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.12.010>
- Derbyshire, S.W. (2016). Fish lack the brains and the psychology for pain. *Animal Sentience*, 3(18). DOI: 10.51291/2377-7478.1047
- Derbyshire, S., y Raja, A. (2011). On the development of painful experience. *Journal of Consciousness Studies*, 18(9-10), 233-256.
- Ehrensing, R.H., Michell, G.F., y Kastin, A.J. (1982). Similar antagonism of morphine analgesia by MIF-1 and naloxone in *Car-*

- assius auratus. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 17(4), 757-761. [https://doi.org/10.1016/0091-3057\(82\)90358-6](https://doi.org/10.1016/0091-3057(82)90358-6)
- IASP [International Association for the Study of Pain]. (1979). Pain terms: A list with definitions and notes on usage. *Pain*, 6(3), 249-252.
- Kawakami, K., y Murakami, Y. (2017). Preface to Vertebrate Brains: evolution, structures and functions. *Development, Growth & Differentiation*, 59(4), 160-162. doi: 10.1111/dgd.12375
- Key, B. (2016). Why fish do not feel pain. *Animal Sentience*, 3(1). doi: 10.51291/2377-7478.1011
- Murakami, Y. (2017). The origin of vertebrate brain centers. En S. Shigeno, Y. Murakami, y T. Nomura (eds.). *Brain Evolution by Design* (pp. 215-252). Springer.
- Rose, J.D. (2002). The neurobehavioral nature of fishes and the question of awareness and pain. *Reviews in Fisheries Science*, 10(1), 1-38. <https://doi.org/10.1080/20026491051668>
- Sneddon, L.U. (2002). Anatomical and electrophysiological analysis of the trigeminal nerve in a teleost fish, *Oncorhynchus mykiss*. *Neuroscience letters*, 319(3), 167-171. [https://doi.org/10.1016/S0304-3940\(01\)02584-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3940(01)02584-8)
- Sneddon, L.U. (2003a). Trigeminal somatosensory innervation of the head of a teleost fish with particular reference to nociception. *Brain research*, 972(1-2), 44-52. [https://doi.org/10.1016/S0006-8993\(03\)02483-1](https://doi.org/10.1016/S0006-8993(03)02483-1)
- Sneddon, L.U. (2003b). The evidence for pain in fish: the use of morphine as an analgesic. *Applied Animal Behaviour Science*, 83(2), 153-162. [https://doi.org/10.1016/S0168-1591\(03\)00113-8](https://doi.org/10.1016/S0168-1591(03)00113-8)
- Sneddon, L.U. (2004). Evolution of nociception in vertebrates: comparative analysis of lower vertebrates. *Brain Research Reviews*, 46(2), 123-130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2004.07.007>
- Sneddon, L.U. (2009). Pain perception in fish: indicators and endpoints. *ILAR journal*, 50(4), 338-342. <https://doi.org/10.1093/ilar.50.4.338>
- Sneddon, L.U., Braithwaite, V. A., y Gentle, M. J. (2003). Novel object test: examining nociception and fear in the rainbow trout. *The Journal of Pain*, 4(8), 431-440. [https://doi.org/10.1067/S1526-5900\(03\)00717-X](https://doi.org/10.1067/S1526-5900(03)00717-X)

Hannibal Peces: canibalismo y su efecto en la acuicultura

César Antonio Sepúlveda-Quiroz^{1*}, Carina Shianya Álvarez-Villagomez¹,
 Graciela María Pérez-Jiménez¹, Gloria Gertrudis Asencio-Alcudia¹,
 Luis Daniel Jiménez-Martínez², Omar Mendoza-Porras³,
 Alfredo Pérez-Morales⁴, Gabriel Núñez-Nogueira⁵, Susana Camarillo-Coop¹,
 Susana De la Rosa-García¹, Rocío Guerrero-Zárate¹, Uriel Rodríguez-Estrada^{1,6},
 Carlos Alfonso Álvarez-González¹, y Rafael Martínez-García¹

RESUMEN: La acuicultura es la actividad económica encargada de la producción de organismos acuáticos, ya sean animales o plantas. Se ha puesto particular énfasis en el incrementar el volumen de cultivo y el número de especies utilizadas, con el objetivo de contribuir al aseguramiento de proteína ante la demanda mundial. Sin embargo, el canibalismo en espe-

cies con alto potencial económico, nutricional y ecológico ha puesto freno a su desarrollo acuícola. En la etapa larval se requiere mayor control sobre la temperatura, alimentación específica y densidad de cultivo adecuado. El incumplimiento de una de estas variables puede derivar en canibalismo. El resultado es una mortalidad exacerbada debido al consumo

¹Laboratorio de Fisiología en Recursos Acuáticos, División Académica de Ciencias Biológicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera Villahermosa-Cárdenas, Km 0.5, 86039, Villahermosa, Tabasco, México.

²División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Carretera estatal libre Villahermosa-Comalcalco, Km 27 S/N, Ranchería, Jalpa de Méndez, 86205, Tabasco, México.

³CSIRO Livestock and Aquaculture, Queensland Bioscience Precinct, 306 Carmody Rd, St Lucia, QLD, Australia.

⁴Centro Universitario de Investigaciones Oceanológicas, Universidad de Colima, Manzanillo, México.

⁵Laboratorio de Hidrobiología y Contaminación Acuática, División Académica de Ciencias Biológicas (DACPBIOL) Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, Tabasco, México.

⁶Cátedra Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Villahermosa, México.

*Autor de correspondencia: casq15@gmail.com

entre las larvas, inanición de larvas mutiladas que inabilitadas no hallan alimento y por heridas que pueden propiciar el desarrollo de enfermedades en los demás organismos. Actualmente las investigaciones están enfocadas al desarrollo de estrategias para disminuir el canibalismo. También se investiga la inclusión alimenticia de diferentes compuestos que, al ser ingeridos por las larvas, promuevan la disminución de la conducta agresiva que resulta en disminución de mortalidad por canibalismo. Para continuar con el desarrollo de la acuicultura en México es esencial desarrollar estrategias de manejo o nutrición para mitigar el canibalismo.

¿QUÉ ES EL CANIBALISMO Y CUÁNTOS TIPOS HAY EN PECES?

Canibalismo no sólo es el producto de historias de terror plasmadas en libros, películas o series de televisión. El canibalismo existe en la naturaleza: arañas, reptiles, crustáceos, pulpos, gasterópodos, diferentes mamíferos y peces, por mencionar algunos, presentan dicho comportamiento. Se define como canibalismo, al acto de ingerir una parte, o el organismo completo, entre individuos de la misma especie.

En peces, se han registrado aproximadamente 390 especies que muestran algún tipo de canibalismo en el medio natural. De estas, 150 especies presentan canibalismo en cautiverio, es decir, en un sistema de cultivo artificial como lo es la acuicultura. En el medio natural o en cautiverio, estos peces manifiestan canibalismo, en la mayoría de los casos, en etapas de desarrollo temprano (larvas de pocos días después de eclosionar hasta llegar a juveniles). Este es el periodo más crítico en el desarrollo y crecimiento de los peces, ya que necesitan de muchos cuidados y requerimientos para sobrevivir. Algunos de los parámetros esenciales son temperatura, salinidad, pH, concentración de oxígeno, y sobre todo, la biodisponibilidad de alimento de buena calidad nutricional. Sin estos cuidados, es prácticamente imposible que puedan sobrevivir.

El canibalismo puede ser de ingesta completa o parcial del organismo. De esta forma el canibalismo se clasifica en tres tipos: **tipo 1**, el individuo caníbal es de menor tamaño y se presenta una ingesta incompleta; **tipo 2**, el individuo caníbal es de mayor tamaño e ingiere completamente al individuo presa; **tipo 3**, varios individuos caníbales desmiembran la presa y la consumen por completo (Figura 1). Por

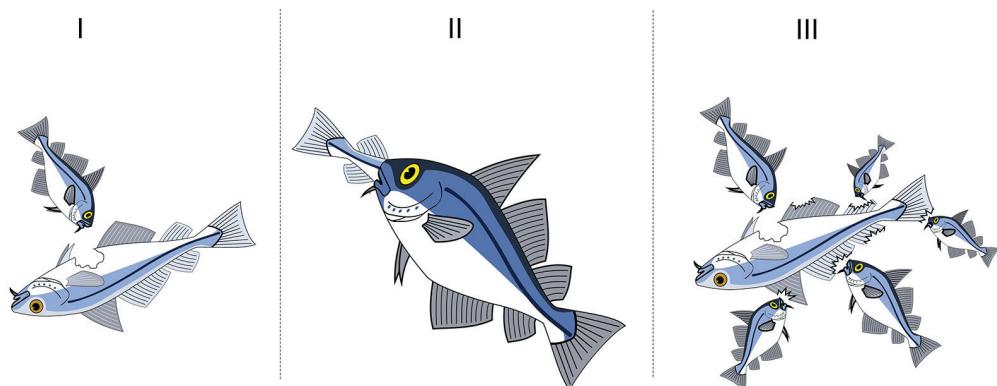


Figura 1. Representación gráfica de los tipos de canibalismo en peces (Sepúlveda-Quiroz *et al.*, 2022).

otro lado, en peces existe además otra clasificación donde se toma en cuenta el parentesco entre caníbal-presa, en este sentido se pueden encontrar tres criterios: I, estado de desarrollo que presenta la presa en relación al caníbal (canibalismo filial, en el cual los padres devoran sus huevos o progenie), II, relación genética de la presa y el caníbal (se presenta cuando los peces son hermanos), y finalmente, III, cuando existe una relación por edad de la presa y el caníbal (cuando el canibalismo se da entre organismos de la misma edad (también llamado intracohorte), o de edad diferente (intercohorte). El canibalismo intracohorte es uno de los que más problemas genera en la acuicultura. Algunas especies de peces con alto potencial internacional para ser cultivados pero que presentan canibalismo en etapas tempranas son mero gigante (*Epinephelus lanceolatus*), barramundi (*Lates calcarifer*), lucioperca (*Sander lucioperca*), perca (*Perca fluviatilis*), robalo (*Centropomus undecimalis*); siendo la totoaba (*Totoaba macdonaldi*), las langostas (*Panulirus interruptus*, *P. argus*, *P. inflatus*, *P. gracilis*), robalo (*C. undecimalis*), pulpo (*Octopus maya*), y el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*) especies que se cultivan en México y que presentan canibalismo.

PANORAMA DEL CANIBALISMO Y SUS EFECTOS EN LA INDUSTRIA ACUÍCOLA

Los efectos del canibalismo en peces tienen más importancia de lo que se cree. Por ejemplo, la acuicultura junto con la maricultura (acuicultura en donde se cultivan organismos marinos), representan a nivel global una producción de al menos 80 millones de toneladas

de productos, y alrededor de \$230,000 millones de dólares anuales. Sin embargo, aunque el avance tecnológico y científico han sido fundamentales para este progreso, la acuicultura y maricultura se enfrentan al gran problema del canibalismo.

Dentro del cultivo de peces, el canibalismo que se presenta en etapa larval y juvenil es el reto por vencer para hacer más rentable la producción, e incrementar el número de especies cultivadas. Esto incluye especies nativas o de gran importancia ecológica para lo cual es preciso desarrollar estrategias para mitigar el canibalismo en laboratorios con el fin de incrementar su supervivencia seguido de su liberación en el medio natural. Existen algunas especies de peces más agresivas que otras, y en su gran mayoría esto se ve reflejado en el porcentaje de canibalismo que presentan el cual ronda del 15 al 65 %, esto está directamente relacionado a un aumento de la mortalidad de las larvas y a su vez a valores de supervivencia muy reducidos los cuales pueden llegar a ser de menores del 5 % y en casos extremos, la perdida total del cultivo. Por ejemplo, en larvas de dorada (*Brycon moorei*), el canibalismo puede reducir al 95 % del cultivo en una semana, debido a los cambios de alimentación y al manejo inadecuado de este comportamiento.

¿QUÉ FACTORES PRODUCEN EL CANIBALISMO EN PECES?

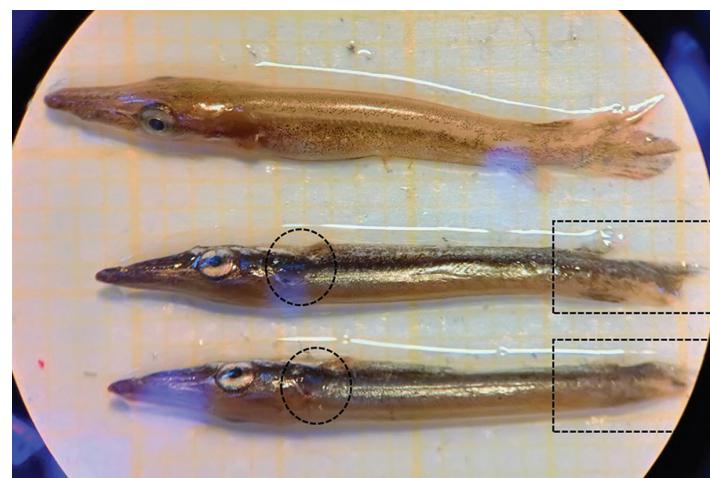
A pesar de que los primeros registros de canibalismo en peces son de mediados del siglo pasado, ha sido sólo en los últimos 30 años donde se ha recabado el mayor conocimiento científico respecto al canibalismo. Principalmente se ha tratado de entender y describir el

comportamiento caníbal, y recientemente, se ha trabajado en la búsqueda de estrategias para mitigar o disminuir su efecto en la acuicultura de peces. Diversos estudios explican que la presencia de canibalismo se debe a una estrategia evolutiva que genera en los peces una mayor capacidad de sobrevivir en condiciones poco favorables incluyendo baja disponibilidad de alimento, espacios que no satisfacen sus requerimientos de crecimiento y desarrollo óptimo, que últimamente los orilla al canibalismo. En el medio natural, el canibalismo es explicado como control y regulación de congéneres, lo que permitiría mayor disponibilidad de alimento y espacios necesarios para coexistir y reproducirse con éxito derivando en mayores índices de sobrevivencia. Dichas explicaciones se refieren a un entorno silvestre. Sin embargo, dentro de la acuicultura estas explicaciones apparentan no ser viables ya que los peces cultivados en un sistema cerrado (peceras, estanques o jaulas), están sometidos a condiciones diferentes a las del medio natural que los orilla al canibalismo.

En este sentido, en la acuicultura hay diversos factores que pueden detonar el comportamiento caníbal dentro del cultivo e incluyen:

densidad de cultivo (número de peces por un espacio dado en una pecera); alimentación (alimento de tamaño inadecuado según la morfología de los peces, raciones insuficientes, calidad nutritiva del alimento); diferencia de tallas entre los peces de un mismo estanque; la ausencia de escondites (refugios que ayuden a los peces a protegerse o a sentirse cómodos); variaciones en temperatura, oxígeno y luminosidad que afectan el bienestar de los organismos. Sin un manejo adecuado, el canibalismo entre los peces puede provocar mortalidades del 95% del cultivo en una semana. La razón de esta alta mortalidad se debe principalmente a que los peces se comen entre ellos o mueren asfixiados cuando caníbal y presa son de tamaño similar. La segunda causa de mortalidad es por heridas causadas al intentar comerse unos a otros. En muchos de los casos, las heridas pueden infectarse y provocar la muerte de los peces. Los peces que logran no ser comidos por sus congéneres, por lo general presentan heridas en las aletas (Figura 2) o mandíbulas que limitan el nado y alimentación adecuada, por lo que con el paso de los días también sucumben.

Figura 2. Heridas producidas por eventos caníbales entre larvas de pejelagarto (*A. tropicus*). El caníbal (superior) muestra una ligera talla más grande, a diferencia de sus presas (inferiores), las cuales presentan la perdida parcial y total de la aleta caudal (rectángulos), además de heridas en el opérculo (círculos), así como una tonalidad oscura muy posiblemente ocasionada por el estrés al no poder nadar y conseguir alimento.



ESTRATEGIAS ACTUALES QUE REDUCEN EL CANIBALISMO EN PECES

Como se ha explicado, los efectos negativos del canibalismo en peces son muy graves, tanto que en ciertas ocasiones ponen en riesgo la continuidad de cultivos, producción y ventas por baja rentabilidad, o totalmente provocan el descarte del cultivo. Para evitarlo, investigaciones recientes consideran los factores que influyen en la aparición del canibalismo y se enfocan en el desarrollo de estrategias que ayuden a disminuirlo o mitigarlo. Algunas de las estrategias para la disminución del canibalismo con resultados positivos son: 1) caracterizar el comportamiento caníbal (interacciones entre presa y caníbal, preferencia de tipo de ataque, el porcentaje de efectividad de dicho ataque, tiempo de seguimiento o persecución de la presa); 2) utilizar una densidad de cultivo adecuado (número óptimo de peces por estanque o pecera); 3) mejorar el manejo de los peces (mantener la talla y peso los peces de manera homogénea, es decir, separar los peces chicos de los grandes para evitar que sean comidos) (Figura 3); 4) realizar una alimentación correcta (administrar alimento

de calidad y en raciones suficientes para satisfacer los requerimientos específicos de cada especie); 5) utilizar sustancias o compuestos que funcionan como mitigantes que disminuyen los ataques agresivos relacionados con el canibalismo. De estos últimos, los más utilizados son el triptófano (un aminoácido) y el ácido docosahexaenoico (DHA, un ácido graso de alta calidad). Ambas sustancias se vinculan con la regulación bioquímica del comportamiento.

A la fecha no se han identificado genes específicos asociados al canibalismo, sin embargo, se han descubierto un conjunto de genes relacionados a diversos comportamientos que podrían derivar en el canibalismo, entre ellos la agresividad, fenómeno conocido como comportamiento agonista, reportado tanto en peces como en crustáceos, y que se le ha asociado con territorialidad y aparición de jerarquías sociales (machos alfas, subordinados, etc.). Por ejemplo, diversos investigadores han reportado que en el pez cebra (*Danio rerio*) existen aproximadamente 40 genes relacionados con la agresividad, mostrando diferencias entre machos y hembras, y cuando éstos son dominantes o subordinados. Además, en este

Figura 3. Efectos del canibalismo (intracohorte) en larvas de pejelagarto (*A. tropicus*). Ambas larvas son de la misma edad y desove. La larva de mayor tamaño es un caníbal que devoró a varios de sus hermanitos.



misma organismo, se identificaron genes como *fgfr1a*, *Fos*, *Dusp1*, *Hdac4*, *Ier2*, *Bdnf*, *Btg2*, y *Nr4a1* relacionados con comportamientos como la agresión, audacia y la exploración.

LOS PECES CANÍBALES DE MÉXICO

La acuicultura en México, como en el resto del mundo, ha incrementado su actividad resultando en una producción aproximada de 330,000 toneladas al año. Este crecimiento ha sido paralelo al desarrollo y creación de diversos centros de investigación distribuidos en todo el país cuya finalidad es investigar la viabilidad del cultivo de nuevas especies o de mejorar y hacer más eficiente el cultivo de las existentes. Aun cuando los datos son alentadores, el canibalismo todavía es un factor de riesgo a nivel de producción para el cultivo de especies con potencial de ser usados en México.

Un claro ejemplo de esta situación es la que se presenta en el pejelagarto (*Atractosteus tropicus*), especie de importancia económica en el sureste de México. El canibalismo en este pez dulceacuícola inicia aproximadamente en la etapa larval (10 días post eclosión) y se prolonga hasta la etapa juvenil (90 días post eclosión) (Figura 4). Este pez puede comerse completamente a sus hermanos con efectos drásticos en la supervivencia que puede occasionar mortalidades del 50%. A pesar de que distintos estudios han desarrollado estrategias para mitigar el canibalismo a través de provisión de *Artemia* viva, alimento formulado (con moduladores de comportamiento) o diferentes densidades de cultivo, aún se requiere más información que mejore nuestro entendimiento del canibalismo para poder desarrollar estrategias que ayuden a disminuir esta problemática

y mejorar aprovechamiento de este organismo en acuicultura.

Además del pejelagarto, en México existen especies marinas y dulceacuícolas que presentan canibalismo incluyendo peces, crustáceos y cefalópodos. Por esta razón, es necesario la realización de estudios científicos que aborden soluciones específicas para cada especie. Con más trabajos de esta índole, se fomentará una actividad de alta eficiencia reflejado por una mayor supervivencia del cultivo derivada en una mayor rentabilidad económica para México.

CONCLUSIÓN

Como se aprecia en este escrito, el avance y desarrollo de la acuicultura de ciertas especies depende de la solución o mitigación del canibalismo. Los diversos estudios en especies caníbales, juegan un papel clave para establecer las bases del conocimiento para el desarrollo de posibles soluciones que, idealmente, erradiquen el canibalismo de la acuicultura.



Figura 4. Canibalismo intracohorte en larvas de pejelagarto (*A. tropicus*) a diez días post eclosión.

Sin embargo, es necesario profundizar estos estudios, de tal forma que permitan describir aspectos específicos de cada especie. Con esta finalidad, se recomienda utilizar herramientas etológicas que permitan conocer el comportamiento de las larvas, establecer métodos de manejo y cuidado, estudiar e identificar genes y rutas metabólicas relacionadas al canibalismo y continuar con la búsqueda de nuevos compuestos de fácil acceso que atenúen la agresividad y mitiguen el canibalismo. Como consecuencia, estas acciones contribuirán a incrementar la producción de más y mejores especies de peces resultando en un incremento de la rentabilidad económica para la industria acuícola con repercusiones positivas para la sociedad mexicana e internacional.

LITERATURA CITADA

- Biswas, P., Rawat, P., Jena, A.K., Patel, A.B., y Pandey, P.K. (2019). Effect of L-tryptophan on growth and survival of Pabda fry, *Ompok bimaculatus* (Bloch, 1794). *Fishery Technology*, 56(1), 29-33.
- Baras, E. (2013). Cannibalism in fish larvae: What have we learned? En Qin, J. G. (Eds.). *Larval Fish Aquaculture* (pp. 167-199). Nova Science Publishers, Inc.
- Chang, Y., Lin, Y., Hsieh, C., y Chen, Y. (2019). Aurantiochytrium dietary supplements reduce intra-cohort cannibalism among orange-spotted groupers (*Epinephelus coioides*) by modulating brain 5-HT and serum cortisol. *Aquaculture*, 502, 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.12.042>
- Colchen, T., Fontaine, P., Ledoré, Y., Teletchea, F., y Pasquet, A. (2019). Intra-cohort cannibalism in early life stages of pikeperch. *Aquaculture Research*, 50(3), 915-924. <https://doi.org/10.1111/are.13966>
- Cuéllar-Lugo, M.B., Asiaín-Hoyos, A., Juárez-Sánchez, J.P., Reta-Mendiola, J.L., y Gallardo-López, F. (2018). Evolución normativa e institucional de la acuacultura en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, 15(4), 541-564.
- FAO (2019). FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2017/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2017/FAO anuario. Estadísticas de pesca y acuicultura 2017. Rome/Roma.
- Filby, A.L., Paull, G.C., Hickmore, T.F.A., y Tyler, C.R. (2010). Unravelling the neurophysiological basis of aggression in a fish model. *BMC Genomics*, 11(1), 498. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-11-498>
- Hseu, J.R., Hwang P.P., y Ting Y.Y. (2004). Morphometric model and laboratory analysis of intracohort cannibalism in giant grouper *Epinephelus lanceolatus* fry. *Fisheries Science*, 70(3), 482-486. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2004.00829.x>
- Król, J., Hliwa, P., Woźniak, M., Stabińska-Ułas, A., Krejszeff, S., Stabiński, R., y Czesny, S. J. (2021). Effect of various commercial diets on rearing performance, body chemical and fatty acid composition, liver histology and vertebral column anomalies in Eurasian perch (*Perca fluviatilis* L.) post-larvae. *Aquaculture Reports*, 20, 100690. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100690>
- Malki, K., Rietz, E. Du, Crusio, W.E., Pain, O., Paya-Cano, J., Karadaghi, R.L., y Tosto, M. G. (2016). Transcriptome analysis of genes and gene networks involved in aggressive behavior in mouse and zebrafish. *American Journal of Medical Genetics Part B*,

- 171(6), 827-838. <https://doi.org/10.1002/ajmg.b.32451>
- Naumowicz, K., Pajdak, J., Terech-Majewska, E., y Szarek, J. (2017). Intracohort cannibalism and methods for its mitigation in cultured freshwater fish. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27(1), 193-208. <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9465-2>
- Nishimura, K. (2018). An interaction-driven cannibalistic reaction norm. *Ecology and Evolution*, 8(4), 2305-2319. <https://doi.org/10.1002/ece3.3801>
- Norton, W.H.J., Stumpenhorst, K., Fauskessler, T., Folchert, A., Rohner, N., Harris, M. P., y Bally-Cuif, L. (2011). Modulation of fgfr1a signaling in zebrafish reveals a genetic basis for the aggression boldness syndrome. *The Journal of Neuroscience*, 31(39), 13796-13807. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2892-11.2011>
- Palma-Cancino, D.J., Martínez-García, R., Álvarez-González, C.A. Camarillo-Coop, S., y Peña-Marín, E.S. (2019). Evaluation of feeding strategies in tropical gar (*Atractosteus tropicus* Gill) larvae: growth, survival and cannibalism. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 6(17), 273-281. <https://doi.org/10.19136/era.a6n17.2092>
- Pereira, L.S., Agostinho, A.A., y Winemiller, K. O. (2017). Revisiting cannibalism in fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 27(3), 499-513. <https://doi.org/10.1007/s11160-017-9469-y>
- Qin, J.G. (2008). Larval fish nutrition and rearing technologies: state of the art and future. En Schwartz, S. H. (Eds.). *Aquaculture Research Trends*. Nova Science Publishers.
- Rosas-Luis, R., Badillo, M.L.J., Montoliu-Elena, L., y Morillo-Velarde, P.S. (2019). Food and feeding habits of *Octopus insularis* in the Veracruz Reef System National Park and confirmation of its presence in the southwest Gulf of Mexico. *Marine Ecology*, 40, e12535. <https://doi.org/10.1111/maec.12535>
- Ribeiro, F.F., Forshyte, S., y Qin, J.G. (2015). Dynamics of intracohort cannibalism and size heterogeneity in juvenile barramundi (*Lates calcarifer*) at different stocking densities and feeding frequencies. *Aquaculture*, 444, 55-61. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.03.029>
- Sepúlveda-Quiroz, C., Alvarez-Villagomez, C., Mendoza-Porras, O., Peña-Marín, E., Maytorena-Verdugo, C., Pérez-Jiménez, G., Jesus-Contreras, R., Álvarez-González, C., y Martínez-García, R. (2023). Attack behavior leading cannibalism in tropical gar (*Atractosteus tropicus*) larvae under different tank colors and shelter type. *Aquaculture*, 563, 738991. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738991>
- Sepúlveda-Quiroz, C.A., Pérez-Jiménez, G.M., Maytorena-Verdugo, C.I., Álvarez-Villagomez, C.S., Mendoza-Porras, O., Peña-Marín, E.S., Martínez-García, R., Camarillo-Coop, S., De la Rosa-García, S., Guerrero-Zárate, R., Pérez-Morales, A., y Álvarez-González, C.A. (2022). Canibalismo en organismos acuáticos: Un reto para la acuicultura comercial. En A. Pérez-Morales, M. A. Galicia-Pérez, y A. Olivos-Ortiz (Eds.). *Estudios marinos y pesqueros en el Pacífico mexicano* (pp. 61-81). Universidad de Colima.
- Smith, C. y Reay P. (1991). Cannibalism in teleost fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 1, 41-64.

La historia de una cebra que es pez y, además, modelo

Kevin Omar Ponce-Palomera^{1,2}, Saúl Rogelio Guerrero-Galván²,
Andrea Itzel Munguía-Casillas², Daniela Rodríguez-Partida²

RESUMEN: Los organismos modelo son aquellos que han sido ampliamente estudiados por la comunidad científica, con la finalidad de comprender procesos biológicos específicos de organismos más complejos. El pez cebra, gracias a sus características como ciclo de vida corto, alta fecundidad, transparencia de los embriones, fácil manipulación y bajos costos de mantenimiento, se ha convertido en uno de los modelos más utilizados en la investigación. Al compartir similitudes genéticas con la mayoría de los vertebrados, es esencial su uso en la biomedicina y ha sido utilizado para comprender las bases de enfermedades humanas como obesidad, diabetes tipo II, dislipidemias, alzhéimer, cáncer, etc. En la toxicología se utiliza con el propósito de saber qué tan tóxico

es un contaminante y qué daños podría ocasionar a los seres vivos. En los últimos años, se han buscado alternativas para sustituir otros organismos como los primates y ratones, y el pez cebra se apunta como un modelo ideal. Su uso se ha extendido a lo largo del tiempo en la investigación y afortunadamente ya hay protocolos establecidos que deben cumplirse para reducir el sufrimiento animal.

EL PEZ CEBRA: DEL MEDIO ORIENTE A TODO EL MUNDO

El pez cebra es una carpa de agua dulce originaria del sureste asiático, se puede encontrar en ríos y arroyos que recorren la India, Bangladesh y Nepal. En 1922, el médico escocés

¹ Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias, Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura, Km 9, Carretera Tepic-Compostela, 63780, Xalisco, Nayarit, México. kevin_palomera@hotmail.com

² Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México. guerrero_saul@yahoo.com.mx, andreamunguia.c@gmail.com, danny/partida94@gmail.com

Francis Hamilton describió al pez cebra con el nombre científico de *Brachydanio rerio*; sin embargo, a lo largo del tiempo sufrió algunos cambios y en 1981 su nombre cambió definitivamente a *Danio rerio*. Su nombre común se le debe a las cinco franjas laterales de color oscuro que van desde la abertura de las branquias hasta la cola y estas franjas hacen recordar a las rayas de una cebra (Figura 1).



Figura 1. Pez cebra macho y hembra. Presentan cinco franjas laterales de coloración oscura. El macho es alargado, en cambio la hembra presenta un vientre abultado debido a la acumulación de huevos.

El pez cebra es un pez pequeño, en condiciones de laboratorio, el peso suele rondar entre 0.5 y 0.9 gramos y una longitud de la punta de la boca a la bifurcación de la cola de 22 y 38 milímetros. Las hembras suelen ser más grandes que los machos y tienen el vientre abultado debido a la acumulación de óvulos, en cambio los machos son más alargados y tienen unas aletas más vistosas de coloración dorada o amarilla.

El ciclo de vida del pez cebra es relativamente corto, es capaz de poner huevos a los tres meses después de salir del huevo, una

hembra puede poner de 200 a 300 huevos por desove, su etapa embrionaria dura alrededor de dos días y los embriones son transparentes, por lo que se puede ver claramente todo el desarrollo con un microscopio.

Su alimentación varía, en vida libre se alimenta de zooplancton, microalgas, huevos de algunos invertebrados, escamas de otros peces, etc. Sin embargo, se desconoce su alimentación en etapas larvarias. En cambio, en condiciones de laboratorio se mantiene una dieta con protistas ciliados, artemias y rotíferos en etapas larvarias, y en la etapa adulta se restringe a alimento comercial.

Por último, este pez que no sólo se encuentra en laboratorios, también tiene importancia comercial al ser vendido para acuarios como pez de ornato. Ha sido modificado genéticamente para tener colores fluorescentes, por lo tanto, podremos tener en nuestro acuario peces cebra de distintos colores.

¿QUÉ ES UN ORGANISMO MODELO?

Un organismo modelo se define como una especie no humana, ampliamente estudiada por la comunidad científica, con la finalidad de comprender procesos biológicos específicos y de esta manera darnos una idea de lo que sucede en organismos similares o más complejos que el estudiado.

El uso de los peces como modelos se remonta a mediados del siglo XVIII y uno de los primeros peces en ser utilizados fue el pez dorado. Sin embargo, conforme pasó el tiempo el pez cebra fue ganando terreno, convirtiéndose hasta ahora en el pez más popular y más utilizado en las distintas áreas de la investigación. Por otro lado, no solo se han utilizado peces

como modelo, también otros menos complejos como la mosca de la fruta, la levadura de cerveza, el nemátodo *Caenorhabditis elegans*, la bacteria *Escherichia coli* y otros más complejos como el pollo, algunos anfibios, ratas, perros y primates, que son todos modelos esenciales para comprender los procesos fisiológicos de otras especies incluyendo al hombre.

El éxito del pez cebra como organismo modelo para vertebrados se debe a las características mencionadas anteriormente, una de las más importantes es la capacidad de poner una gran cantidad de huevos en un periodo corto de tiempo y desovar prácticamente todo el año. Esta última característica se cree que fue adquirida por la domesticación, ya que, en condiciones naturales el pez solamente desova en una vez al año, específicamente antes del mes de agosto, cuando las temperaturas son elevadas y hay una mayor cantidad de alimento disponible. Lo anterior, lo convierte a este pez en un modelo ideal por su facilidad de manipulación y el bajo costo de su mantenimiento.

UN ALIADO PARA COMPRENDER Y TRATAR LAS ENFERMEDADES HUMANAS

Generalmente asociamos a las proteínas con la alimentación, pero no sólo se encuentran en los alimentos. Las proteínas son moléculas que cumplen distintas funciones en el cuerpo, por ejemplo, estructura celular, transporte de nutrientes y defensa contra microorganismos que podrían causar enfermedades, pero ¿por qué hablamos de las proteínas? Una de las características del pez cebra que le dio impulso para ser uno de los organismos modelo más utiliza-

dos, es que comparte con el ser humano el 71% de las secuencias de ADN que codifican las proteínas y de éstas, cuatro quintas partes son comunes en las enfermedades metabólicas en el ser humano y en el pez cebra. Esto ha llevado a utilizar el pez cebra para entender las bases de las enfermedades de los seres humanos.

La obesidad y diabetes tipo 2 son las enfermedades epidémicas a nivel mundial más importantes y preocupantes para el ser humano, la aparición de ambas es alta y sigue aumentando considerablemente. Debido a su complejidad, se ha utilizado al pez cebra como modelo para comprender el progreso de las enfermedades en los seres humanos y proponer nuevos tratamientos para combatirlas. Los estudios han demostrado que el pez cebra es un buen modelo para estudiar las enfermedades metabólicas, porque tiene los órganos esenciales que están relacionados con ambas enfermedades en los mamíferos: el tracto gastrointestinal, el músculo esquelético y el tejido adiposo. Además, las vías que regulan el apetito, la insulina y el almacenamiento de grasas es muy similar entre el pez cebra y el ser humano. También se ha utilizado el pez cebra para la búsqueda de nuevos fármacos o para la sustitución de otros. En un estudio sobrealimentaron al pez cebra con la finalidad de aumentar los niveles de glucosa en sangre, se indujo en el pez la producción de insulina y se volvió intolerante a la glucosa, seguido de esto, le administraron metformina y glimepirida. Estos dos fármacos son utilizados por los humanos para tratar la diabetes y ambos redujeron significativamente los niveles de glucosa en sangre del pez. Con base en esto, se afirma la similitud de los efectos del fármaco y de la evolución de la diabetes entre el pez cebra y el humano.

Por otro lado, algunos medicamentos causan diversos efectos secundarios en los seres humanos y como se mencionó anteriormente, algunos fármacos tienen un efecto similar en el pez cebra. Por lo tanto, el pez cebra es un modelo ideal para buscar alternativas para su sustitución.

Otra de las enfermedades donde también se ha utilizado el pez cebra como modelo para estudiar y comprender la misma, es el Alzhéimer. Actualmente, una de las hipótesis sobre la causa de esta enfermedad es la formación de placas de proteínas beta-amiloides. Las placas beta-amiloides son proteínas que no se forman de manera adecuada y son capaces de causar pérdida de neuronas y con ello una reducción del tejido cerebral. Las características del pez cebra y la similitud neuroanatómica con el humano lo hace un modelo importante para investigar la enfermedad. Sin embargo, no sólo hay ventajas en el uso de este pez para estudiar el Alzhéimer, también hay desventajas y una de ellas es que durante toda su vida el pez regenera las neuronas en algunas regiones del cerebro en comparación con los mamíferos que sólo lo hacen en cierta etapa de su desarrollo. Un estudio simuló la enfermedad en peces cebra, inyectaron proteínas beta-amiloides en el cerebro del pez y provocaron una degeneración neuronal, pero esta misma degeneración provocó la activación de señales para prevenir la y también para la regeneración de neuronas. Quizás no represente un modelo idóneo en el caso de la hipótesis de las beta-amiloides, pero sí podría ser un modelo adecuado para investigar los procesos de regeneración neuronal en los mamíferos.

Una de las enfermedades más espeluznantes también ha sido estudiada mediante el

modelo del pez cebra: el cáncer. Tradicionalmente se ha utilizado el ratón como modelo para investigación del cáncer; sin embargo, el pez cebra ha ganado terreno en esta debido a sus características, y con la información obtenida de ambos se complementan para comprender mejor la enfermedad. El crecimiento de tumores en el pez cebra es similar a los procesos de avance tumoral en los seres humanos. El pez cebra es un modelo versátil porque se puede manipular fácilmente. Se puede inducir el cáncer humano a través de transgénicos, mutantes y trasplantes de células cancerosas, tanto a adultos como embriones. En el caso de los embriones, se utilizan cuando se requieren observar procesos tumorales específicos, porque los embriones son transparentes y facilita la observación del desarrollo tumoral. Además, la progresión del cáncer en embriones es mucho más rápida en comparación con los adultos. Algunos tipos de cáncer que se han estudiado en pez cebra son: testicular, hepático, intestinal, tiroideo, pancreático, melanomas y leucemias. Gracias a los experimentos en este animal modelo podemos saber cómo funciona la enfermedad y en ocasiones se pueden buscar tratamientos adecuados para los seres humanos.

UN MODELO AMPLIAMENTE UTILIZADO EN LA TOXICOLOGÍA

El crecimiento de la población y el desarrollo humano ha llevado al aumento de contaminantes en todos los ecosistemas, la nueva aparición de compuestos y su persistencia en el ambiente ha generado preocupación de salud pública. Los seres humanos estamos en constante exposición a estos contaminantes y hasta

hoy se desconocen su toxicidad y los efectos que pueden ocasionar. Es por eso que se han implementado modelos mamíferos como el rataón, conejo y la rata, y de esta manera conocer los daños que podrían ocasionar en la salud humana. Sin embargo, el pez cebra, a pesar de no ser mamífero, nos proporciona el mismo panorama que los modelos mamíferos en los órganos y genes en común.

Hoy en día, el pez cebra es un modelo muy reconocido en la toxicología. La similitud entre el pez y los mamíferos ha llevado a realizar diversos estudios de toxicocinética y toxicodinámica. Estos estudios consisten en conocer como entra, distribuye, se acumula o elimina en el cuerpo un tóxico y en qué parte de la célula y sus moléculas puede causar daños. El área donde más se utiliza el pez cebra es en la toxicidad del desarrollo, principalmente en temas de emergentes de la toxicología como “origen de la salud y enfermedad en el desarrollo”; sin embargo, también es usado para investigar los mecanismos de acción de los xenobióticos, toxicidad en órganos reproductivos, ensayos de comportamiento y para estudios multigeneracionales y transgeneracionales. El pez cebra se ha utilizado para evaluar toxicidad de muchos compuestos como metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos orgánicos volátiles y persistentes, y los de mayor preocupación: los contaminantes emergentes. Inclusive se utiliza para evaluar toxicidad de mezclas complejas de estos grupos de compuestos como los efluentes de aguas residuales tratadas. Una de las ventajas de utilizar el pez cebra como modelo en la toxicidad del desarrollo es la transparencia de los embriones, porque se pueden observar las anomalías que ocasiona un compuesto

químico en su cuerpo mediante un microscopio. Otra de las ventajas es que los productos químicos pueden ser fácilmente añadidos al agua, a diferencia de los mamíferos que serían añadidos a través de inyecciones, alimento, ungüentos, etc. En cuanto a desventajas, una de ellas es la exposición de embriones a compuestos químicos, debido a que el corión, la capa que protege al embrión, es impermeable y lo protege de la entrada de algunos compuestos. Algunos investigadores sugieren realizar los experimentos de toxicidad después de la eclosión del embrión, sin embargo, no está del todo definido, porque se ha demostrado que algunos compuestos son capaces de generar efectos en los embriones anterior a la eclosión. Otra de las desventajas, son las enfermedades que podrían contraer los peces adultos a través de constante estrés generado por la exposición a compuestos químicos.

LA BIOÉTICA EN LA EXPERIMENTACIÓN ANIMAL

El avance científico y tecnológico ha sido posible gracias a la experimentación con animales, los científicos mencionan que su investigación no podría ser posible sin el uso de estos modelos. En algunos ensayos se han sustituido los modelos animales por métodos alternativos que nos muestran un panorama similar; sin embargo, aún se necesitan animales para tener una mayor solidez en nuestra investigación. Con el incremento del uso del pez cebra en la experimentación surgieron muchas dudas sobre la ética y sobre el bienestar de la especie. En el año 1959, se establecieron los principios de las tres «R» en Inglaterra con la finalidad de guiar a los comités de ética en cuanto al

bienestar de los animales en la experimentación. Estos principios fueron desarrollados por William Russel y Rex Burch y consisten en: Reemplazo, Reducción y Refinamiento. «Reemplazo» se refiere a reemplazar animales superiores por animales que hasta hoy con la evidencia científica muestra que tienen una menor percepción del dolor. «Reducción» hace referencia a reducir al máximo el número de individuos que se usan en los ensayos, y por último «Refinamiento» se refiere a que se minimice el sufrimiento animal durante los procesos experimentales. Por estas razones, se ha propuesto sustituir los modelos mamíferos por animales que estén menos desarrollados o que tengan menor percepción del dolor. El pez cebra representa una alternativa para la investigación con mamíferos, porque tienen un sistema nervioso menos desarrollado y comparte características similares en cuanto a forma y función. La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha realizado diversos protocolos para la experimentación toxicológica, estos protocolos son utilizados por estancias gubernamentales, la industria, laboratorios privados y universidades para identificar los daños potenciales de los productos químicos que son de reciente adición al medio ambiente. Dentro sus protocolos se utilizan distintos organismos modelo, en algunos de ellos entra del pez cebra, y ahí se estipula cómo se deben realizar los ensayos para que la comunidad científica haga un uso responsable del pez.

CONCLUSIÓN

El uso de organismos modelo es ineludible y nos da grandes ventajas en la experimenta-

ción científica, gracias a ellos tenemos avances como el desarrollo de vacunas y medicamentos, además son de gran ayuda para comprender las enfermedades de los seres humanos. Las características del pez cebra lo convierten en una buena alternativa para la sustitución de los modelos mamíferos, su uso se ha implementado en distintas partes del mundo, principalmente en áreas de la investigación biomédica y recientemente en la ecotoxicología. La enorme ayuda que nos dan los modelos animales experimentales, en la preservación de la salud y de la vida humana, nos obliga a todos y a cada uno de nosotros a cumplir con los protocolos establecidos para reducir al máximo el sufrimiento animal.

LITERATURA CITADA

- Bhattarai, P., Turgutalp, B., y Kizil, C. (2022). Zebrafish as an Experimental and Preclinical Model for Alzheimer's Disease. *ACS Chemical Neuroscience*, 13(20), 2939-2941. <https://doi.org/10.1021/acschemneuro.2c00583>
- Cartner, S.C., Eisen, J.S., Farmer, S.C., Guillemin, K.J., Kent, M.L., y Sanders, G.E. (Eds.). (2020). Front Matter. En *The Zebrafish in Biomedical Research* (p. iii). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812431-4.01001-0>
- Fenwick, N., Griffin, G., y Gauthier, C. (2009). The welfare of animals used in science: How the «Three Rs» ethic guides improvements. *The Canadian Veterinary Journal*, 50(5), 523-530.
- Horzmann, K.A., y Freeman, J.L. (2018). Making Waves: New Developments in Toxicology With the Zebrafish. *Toxico-*

- logical Sciences*, 163(1), 5-12. <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfy044>
- Khan, F.R., y Alhewairini, S.S. (2018). Zebrafish (*Danio rerio*) as a Model Organism. En *Current Trends in Cancer Management*. In techOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81517>
- Leonelli, S., y Ankeny, R.A. (2013). What makes a model organism? *Endeavour*, 37(4), 209-212. <https://doi.org/10.1016/j.endeavour.2013.06.001>
- Müller, B., y Grossniklaus, U. (2010). Model organisms. A historical perspective. *Journal of Proteomics*, 73(11), 2054-2063. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2010.08.002>
- Parichy, D.M. (2015). Advancing biology through a deeper understanding of zebrafish ecology and evolution. *eLife*, 4, e05635. <https://doi.org/10.7554/eLife.05635>
- Spitsbergen, J.M., y Kent, M.L. (2003). The State of the Art of the Zebrafish Model for Toxicology and Toxicologic Pathology Research-Advantages and Current Limitations. *Toxicologic Pathology*, 31(1-suppl), 62-87. <https://doi.org/10.1080/01926230390174959>
- Zang, L., Maddison, L.A., y Chen, W. (2018). Zebrafish as a Model for Obesity and Diabetes. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fcell.2018.00091>

Arte, un conducto para la preservación del medio ambiente

Ana Laura Lomelí Ocampo y Pavel López Cadena

RESUMEN: La función del arte está en constante cambio. A través de la historia ha servido para sostener mitos, con fines místicos y espirituales como quedó plasmado en las pinturas rupestres de Lascaux, 15,000 años a. C. (Figura 1), para legitimar gobiernos, propagar ideologías, o con intenciones meramente estéticas, como proponían los esteticistas. Oscar Wilde afirmaba que: «Todo arte es completamente inútil» en *El retrato de Dorian Grey*, ya que se

le considera defensor de la idea de crear «el arte por el arte», sin tener que estar ligada a un compromiso social, político o ético, o tener un fin fuera de sí mismo; sin embargo, en la actualidad, los creadores no realizan obras pensadas solo para la exposición en museos, galerías o la inserción al mercado, sino que apuestan a la creación que incida en la realidad y aborde problemáticas sociales contribuyendo a reforzar la identidad y generar cohesión en el desgarrado tejido social.

Utilizando recursos técnicos como la sintaxis de la imagen y el manejo adecuado de la luz y el color, es posible transmitir mensajes de manera alternativa a un lenguaje oral u escrito, incluso sentimientos y emociones a través de actos cinestésicos como lo planteaban los maestros del expresionismo alemán: Vasilí Kandinsky y Johannes Itten. Este planteamiento abre la posibilidad de utilizar el arte como un dispositivo pedagógico que puede

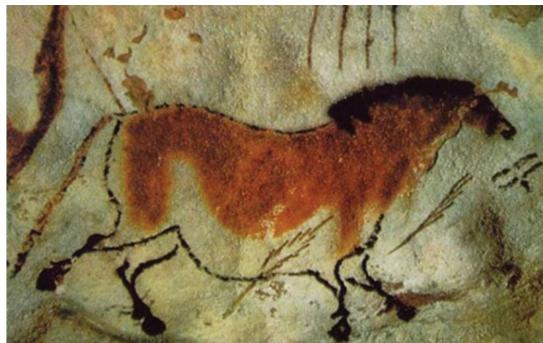


Figura 1. Pintura rupestre, Lascaux. Dominio público.

Posgrado en Ciencias para el Desarrollo, la Sustentabilidad y el Turismo, Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

comunicar y enseñar a la sociedad sobre temas actuales como la equidad e igualdad de género, migración, inclusión social y la crisis medioambiental.

DESARROLLO DEL TEMA

El ser humano tiene una relación única con la naturaleza y el arte, siendo las actividades naturales las primeras en ser plasmadas en las cuevas de Altamira (arte rupestre) forjando la conexión de lo natural con las manifestaciones artísticas. La necesidad de plasmar la caza impulsó la inquietud de manifestar la conexión con los elementos naturales tales como el fuego, el agua, viento y tierra. Con el paso del tiempo, vanguardias como el paisajismo y el naturalismo conectan al ser humano y la naturaleza de una manera más técnica y simbólica en el ámbito artístico, expresando la belleza natural de nuestro mundo. Retratos del idealismo romántico disfrazados de sátira están listos para ser utilizados como arma política, obras que en su mayoría son pinturas con pinceladas que nos permiten adentrarnos a espacios representativos de la realidad, apreciando una vez más para conectar el arte y la naturaleza con nuevas manifestaciones tales como el performance, las instalaciones o murales que reflejan la evolución, transgresión y conexión artística-natural.

En nuestro presente es común ver obras de arte que se enfoquen en temas importantes como la salud, liderazgo, tensión geopolítica y cambios ambientales, en donde los artistas reflejan el mal-estar social colectivo combinados con técnica, simbolismo y creatividad. En la pieza «trashion» (Figuras 2 y 3), podemos observar de manera clara la intención de la ar-

tista estadounidense Marina DeBris, que centra su proyecto en la creación de conciencia y respeto sobre la contaminación en las playas y océanos mediante la reutilización de basura o



Figura 2. *Trashion*, Basura blanca. Fotografía de Lisa Bevis.



Figura 3. *Trashion*, Basura blanca. Fotografía de Lisa Bevis.

la obra de Courtney Mattison en donde su enfoque principal es la preservación de los mares mediante esculturas delicadas y minuciosas que reflejan a los arrecifes (Figuras 4, 5 y 6).

Estas obras además de atraernos visualmente por su estética transgresora son un grito al daño que hacemos como especie a nuestro Planeta Tierra. Algunos impactos es-

Figura 4. Tierra fragil.

Fotografía de Amanda Brook para Art in Embassies, Departamento de Estado de Estados Unidos.



Figura 5. Tierra fragil. Fotografía de Amanda Brook para Art in Embassies, Departamento de Estado de Estados Unidos.



Figura 6. Tierra fragil. Fotografía de Amanda Brook para Art in Embassies, Departamento de Estado de Estados Unidos.

tán cerca de ser irreparables, como la escasez del agua, el cambio climático o la pérdida de biodiversidad y por medio de las diferentes expresiones artísticas se hace un llamado de conciencia para proteger nuestro hogar. Otro ejemplo, es la exposición Fábulas: de desplazamiento emocional y físico, del artista mexicano Ariel Vargassal el cual aborda el cambio climático y el daño que tiene en todas las especies que cohabitamos el Planeta Tierra, mostrando que los artistas del mundo no son ajenos a los problemas sociales. Esto queda de manifiesto a través de sus creaciones donde muestran sus habilidades para expresar el espacio y tiempo de la humanidad. Las obras que se encuentran dentro del arte ambiental o arte ecológico, además de modificar y crear artísticamente el medio ambiente natural mediante distintas estrategias, concientizan al espectador de los factores que impactan de manera negativa en la naturaleza. Estas creaciones se encuentran exhibidas no solo en museos o galerías, también en proyectos activistas alrededor del mundo con el fin de que sean conocidas no solo en el medio artístico, sino que los líderes políticos tomen medidas para garantizar el cuidado ambiental y el bienestar natural de los seres vivos. Artistas como Dr. Atl, José María Velasco o Emilia Pardo Bazán plasmaron perspectivas con enfoque realista a través de la conexión arte-naturaleza por medio de sus pinturas. En la década de los sesenta artistas americanos e ingleses crearon un nuevo movimiento artístico para reflexionar, experimentar y ejecutar nuevas obras relacionadas con la propia naturaleza y su relevancia para la vida, el *Land Art*. Walter de María creó el término *Land Art* con la intención de definir sus primeras intervenciones en espacios na-

turales, utilizando este término por primera vez para la exposición televisada *Land Art* (1969), que agrupaba la obra de diversos artistas como Long, Oppenheim o Smithson. Este movimiento artístico contemporáneo empleó elementos físicos y simbolismos en escenarios naturales para realizar intervenciones artísticas. Hay que tener en cuenta, además, un rasgo propio de la contemporaneidad, caracterizada por la ausencia de unos límites bien marcados entre las expresiones artísticas y sus géneros, provocando que estas intervenciones en la naturaleza muchas veces se encuentren bordeando el performance o el *body art*.

Mediante la creación de una obra artística variada, se hace una crítica que nos acerca a algunos problemas ecológicos que ha producido y está produciendo el sistema capitalista y la sociedad de consumo, como pueden ser la insostenibilidad del medio ambiente o la grave contaminación emitida a la atmósfera, estableciendo un vínculo entre el arte y la concienciación ambiental. Un considerable número de artistas han utilizado la naturaleza como eje fundamental de sus obras aprovechando el mensaje implícito que transmite mediante la reproducción pictórica, fotográfica o escultórica de la misma, haciendo que la apropiación de materiales naturales para la composición de sus piezas, no solo sean elementos que la propia naturaleza ofrece, sino también instrumentos para la representación del mundo actual.

CONCLUSIÓN

La función del arte está en constante transformación, adaptándose a su momento histórico, desde la época prehistórica donde se utilizaba para rituales mágicos, pasando por la Edad Me-

dia donde adquirió una función de adoctrinamiento mediante representaciones religiosas, hasta llegar a la actualidad, donde ha adquirido un carácter multifuncional capaz de incidir en la sociedad y participar en temas actuales de interés general como la crisis medioambiental mediante la creación de obra artística. Esto nos sirve para hacer una crítica que nos acerca a los problemas ecológicos que se producen y seguirán produciendo en el sistema capitalista y la sociedad de consumo actual, como la insostenibilidad del medio ambiente o la grave contaminación emitida a la atmósfera, fortaleciendo y plasmando el vínculo entre arte, medio ambiente y sociedad.

LITERATURA CITADA

Bauman, Z. (2003). *Modernidad líquida*. Fondo de Cultura Económica.

- Bourdieu, P. (2010). *El sentido social del gusto. Elementos para una sociología de la cultura*. Siglo xxi.
- DeBris, M. (2021). Pollution reborn as art. Washep up. <http://www.washedup.us>
- Gombrich, E.H. (2009). *La historia del arte*. Phaidon Press.
- Gómez, L.J. (2009). Breve introducción al *Land Art. Revista de Clases historia*, revista digital de Historia y Ciencias sociales. Consultado el 04 de diciembre de 2022.
- Kandinsky, W. (2019). *De lo espiritual en el arte*. Ediciones Coyoacán. <https://courtneymattison.com>
- Mattison, C. (2022). Portafolio de artista Courtney Mattison. <https://courtneymattison.com>

¿Se ensuciará toda el agua del planeta?

Saúl Rogelio Guerrero Galván¹, Kevin Ponce Palomera²,
y Liza Danielle Kelly Gutierrez¹

RESUMEN: Los beneficios de mejores condiciones sanitarias y una mejor salud pública lograron una mayor sobrevivencia en la humanidad y creó la necesidad de un aumento sustancial en la producción de alimentos, que se logró gracias a la denominada Revolución Verde. Esta consiste en la intensificación de los cultivos con la creación de zonas de riego, híbridos de las plantas de cultivo y el uso de agroquímicos, principalmente fertilizantes que proveen a las plantas de los nutrientes necesarios para su mayor y más rápido crecimiento. Los mismos nutrientes que llegan a los ecosistemas acuáticos que, conjuntamente, con los desechos humanos, ocasionaron uno de los problemas más graves del agua en el presente la “Eutrofización Cultural”, cuyos efectos dañinos son más graves cuando se conjuntan con el

cambio climático global y convierte a los cuerpos de agua en inútiles para los ecosistemas y para el uso humano.

• • •

Los seres vivos para poder llevar a cabo sus funciones necesitan tomar del medio materia y energía. Las plantas pueden tomar la energía directamente del sol y con ella, a través de la fotosíntesis toman el dióxido de carbono de la atmósfera o disuelto en el agua y generan carbohidratos que serán transformados en moléculas más grandes y complejas con la adición de otros elementos. Es decir, fabrican todos sus materiales a partir de los elementos en sales y gases, de estos los más importantes son el nitrógeno, que formará parte de las proteínas, los ácidos nucleicos y el fósforo. Este último,

¹ Laboratorio de Calidad de Agua y Acuicultura Experimental. Centro Universitario de la Costa, Universidad de Guadalajara. Av. Universidad 203, delegación Ixtapa, 48280, Puerto Vallarta, Jalisco, México.

² Programa de Maestría en Ciencias Biológico Agropecuarias. Universidad Autónoma de Nayarit. Unidad Académica de Agricultura, Km. 9, Carretera Tepic-Compostela, 63780, Xalisco, Nayarit, México.

que además de ser parte de los ácidos nucleicos, es fundamental en las moléculas que dan la energía a las reacciones bioquímicas para crecer, reproducirse, moverse, percibir su entorno y hasta pensar.

Aunque la vida utiliza, en pequeñas cantidades, al menos una docena más de otros elementos, en el medio siempre hay las cantidades suficientes de estos. Por otro lado, el nitrógeno y el fósforo no están siempre presentes en las cantidades necesarias y se les llama los nutrientes limitantes, porque la cantidad de materia viva que tiene un ecosistema dependerá de sus cantidades.

Nosotros los seres humanos, como toda la vida, necesitamos de nutrientes y no podemos, como las plantas, tomarlos del medio como sales simples, los necesitamos en moléculas complejas y es necesario que otros organismos las sinteticen, por esto hemos desarrollado la industria alimentaria que incluye entre otras la agricultura, la ganadería, la acuicultura, etc. De esta manera utilizamos las plantas para que tomen de sales simples el nitrógeno y fósforo,

que añadimos al suelo en lo que llamamos fertilizantes. Las moléculas, así formadas por las plantas, las consumimos directamente o bien alimentamos animales para que las transformen en moléculas que no podemos producir, es decir, es esencial su consumo para sostener la vida humana.

En el siglo xx, se llevó a cabo la implementación de medidas sanitarias, como hacer extensiva el agua potable entubada y drenajes cerrados para retirar el agua con desechos y la recolección de residuos sólidos (basura) para enviarlos a vertederos fuera de las ciudades. Además, se lograron grandes avances en la medicina, con un mayor acceso de la población, vacunaciones masivas, más y mejores tratamientos para las enfermedades. En la farmacología, se logró la producción masiva de los antibióticos lo que permitió combatir y sanar muchas infecciones bacterianas que eran mortales en grandes sectores de la población. Todos estos factores, dieron como resultado que se lograra una mayor supervivencia en todas las etapas de la vida. Lo anterior generó un desequilibrio entre las tasas de fallecimientos y nacimientos, y la población humana creció de una manera acelerada.

El aumento de la población requirió una mayor cantidad de alimentos, para conseguirlos la agricultura se tecnificó. A partir de cruzas entre variedades de plantas de cereales existentes se obtuvieron híbridos que resisten mayores densidades de siembra, condiciones meteorológicas adversas y enfermedades. También en las condiciones del suelo se realizaron cambios importantes, una mayor irrigación y el uso de fertilizantes, para proveer a los cultivos de nitrógeno y fósforo en cantidades requeridas para las altas densidades de siem-



Figura 1. «Campos de trigo» by Jesus Belzunce con licencia CC BY-NC-ND 2.0. Creative Commons

bra. La tecnificación de la agricultura logró en la segunda mitad del siglo xx aumentar la productividad por hectárea de los cultivos entre cinco y diez veces más, con estos cambios se logró alimentar a la población en crecimiento y a la fecha se alimenta a la humanidad gracias a la «agroindustria». Sin embargo, este proceso propició los monocultivos extensivos que fueron susceptibles a plantas invasoras y permite que las enfermedades se propaguen muy rápidamente, para contrarrestar a éstas, denominadas plagas, se utilizan los plaguicidas, compuestos que matan las plantas invasoras y los agentes causantes de las enfermedades.

Los fertilizantes son insumos indispensables para la agroindustria ya que sin ellos es muy difícil, si no imposible, producir la comida necesaria para la cada vez más grande población mundial; sin embargo, su uso y, normalmente, por excesiva aplicación, tiene como consecuencia que los fertilizantes lleguen a los ecosistemas acuáticos enriqueciéndolos de nutrientes.

El aumento de la población humana y de la producción de mayores cantidades de alimentos ocasionó un incremento en los desechos humanos, los generados por las funciones vitales esenciales y los industriales. Todos estos desechos, de manera directa o indirecta y operacional o accidental, llegan a los ecosistemas acuáticos e incrementan la concentración de nutrientes. La llegada de los desechos humanos ocurre principalmente por las aguas residuales, que si se vierten sin tratamiento aportan materia orgánica y nutrientes a los cuerpos de agua que las reciben, y las aguas residuales tratadas a nivel secundario, que es el tratamiento más común en el mundo, aportan grandes cantidades de nutrientes también.



Figura 2. Centro de la Ciudad de México. CC fotografía de Gallagher. Con licencia CC BY-NC-SA 2.0 Creative Commons.

Los ecosistemas acuáticos prístinos, ríos, lagos, lagunas y el océano, son normalmente oligotróficos (del griego *oligo*, escasa o poco y *trophe*, nutrición), es decir, tienen muy poca cantidad de nutrientes y de manera natural los acumulan con el paso de miles de años por lo que aumenta su cantidad, es decir, se tornan eutróficos (del griego *eu*, bien y *trophe*, nutrición). El aumento de los nutrientes hace que el ecosistema cambie, animales y plantas se sustituyan unos por otros, fenómeno que se conoce como sucesión biológica, y se acumulan sedimentos y materia orgánica en el vaso contenido (lago, laguna, etc.) que poco a poco se va azolvando y con el paso de los milenios, por ejemplo, un lago, se convierte en un pantano y después en terreno seco, a todo este proceso se le llama eutrofización.

La Eutrofización Cultural, es el término con el que se denomina al enriquecimiento por nutrientes de los ecosistemas acuáticos por las actividades humanas, principalmente por la agroindustria (con sus fertilizantes y las aguas residuales), y que a diferencia del natural ocu-

rre en el orden de años o décadas. Debido a este fenómeno los ecosistemas cambian sus características tan rápido que no da oportunidad a que ocurra la sucesión biológica. El sistema acuático pierde, además de su valor ecológico, el económico, recreativo y extractivo, es decir, el agua y el ecosistema se pierden al transformarse en algo inútil, desde todo punto de vista.

Aunado a todo lo anterior, la quema de combustibles fósiles genera óxidos de nitrógeno (N_xO), que son arrastrados de la atmósfera por la lluvia y constituyen un aporte importante de nitrógeno a los ecosistemas acuáticos y contribuyen en la eutrofización cultural. Adicionalmente, el cambio climático global, también ocasionado por los combustibles fósiles, causa que animales y plantas se encuentren en situación de estrés, por los cambios en la temperatura y las condiciones del agua, lo que los hace más susceptibles a los daños ocasionados por la eutrofización cultural.

El incremento de los nutrientes en un cuerpo de agua, en el inicio propicia el desarrollo de los productores primarios que enriquecen las cadenas tróficas, al haber más alimento para los consumidores del plancton y así sucesivamente hasta llegar a los niveles más altos de las cadenas tróficas. Es decir, en un inicio la eutrofización propicia mayores pesquerías por la mayor disponibilidad de alimento. Más adelante, el aumento de nutrientes persistentes ocasiona que las algas se reproduzcan tan rápido que ocasiona que la luz solar, indispensable para la fotosíntesis, ya no pueda acceder a las zonas profundas del agua y ocasiona la muerte de las algas y las plantas en el fondo. Mientras más nutrientes hay en las aguas, más turbias se vuelven (y la penetración de la luz es cada vez menor), lo que ocasiona que en el

fondo ya no haya fotosíntesis, pero si una gran cantidad de materia orgánica. Esto provoca que se consuma en su totalidad el oxígeno y todos los organismos que están en el fondo, y los asociados al fondo mueran, lo que aumenta el consumo de oxígeno y hace que el fondo esté persistentemente sin oxígeno (anóxico).

Hay que señalar que, además del enriquecimiento de nutrientes en la muerte de los ecosistemas acuáticos, la sobre pesca contribuye porque acelera la acumulación de materia orgánica; porque en la actividad pesquera lo que se colecta son, usualmente, los consumidores en los niveles más altos de la cadena trófica por ejemplo, grandes cardúmenes de peces como atunes, que al estar ausentes, no consumen la materia orgánica que ellos requieren y esta se acumula.

La eutrofización cultural se observaba únicamente en cuerpos de agua continentales; sin embargo, desde mediados del siglo xx se observó su presencia en el mar en lo que se denominó las zonas muertas, que son sitios en los que ya no se encuentran organismos como peces, medusas, anémonas, etc. En su lugar solo quedan natas de algas y microorganismos anaeróbicos (que no requieren oxígeno para vivir) que degradan la materia orgánica. En estas zonas se pierden recursos pesqueros con un daño económico y alimentario en las zonas que afecta. En el ámbito recreativo el afloramiento de algas, micro y macroscópicas, hace desagradable el nado (de las personas) o bien imposible cuando hay mal aspecto olores fétidos o grandes cantidades de algas macroscópicas. En 1960 en los océanos se encontraban identificadas 49 zonas muertas y en la actualidad son 405, todas ellas ocurren en ciertas épocas del año, con excepción del fondo del



Figura 3. Mortandad masiva de peces en la laguna de Cajitlán, Jalisco. Fotografía de Revolución 3.0. <https://revolucion.news/retiran-112-toneladas-de-peces-muertos-de-la-laguna-de-cajitlan-jalisco/>

mar Báltico (mar interior, de agua salobre, al norte de Europa) donde ya es persistente a lo largo de todo el año.

Aunado a todo lo anterior, en este siglo son evidentes las consecuencias del aumento de las concentraciones de gases de invernadero en la atmósfera de toda la Tierra, que ocasiona el cambio climático global, y que aparentemente no haremos nada para detenerlo ni disminuirlo. Este cambio climático cambia las temperaturas del planeta, distribución de las lluvias y velocidad del viento.

El aumento de la temperatura ocasiona, en los sistemas acuáticos, cambios en la acidez y alcalinidad del agua, la salinidad, solubilidad de los contaminantes y la velocidad de intercambio de compuestos químicos entre atmósfera, agua y sedimentos. Al conjuntarse estos cambios con la eutrofización cultural hace que se incremente la cantidad y permanencia de crecimientos exagerados de un tipo de algas, que es lo que se llama marea roja. Las cianobacterias que crecen más rápido en aguas cálidas son más frecuentes en los cuerpos de agua. Estas algas tienen la capacidad de producir toxinas, las cianotoxinas que pueden producir la

muerte no solamente en organismos acuáticos, sino aquellos que dependen del agua.

El cambio de los patrones de lluvia, predicho para mediados de este siglo, muestra un aumento en la zona ecuatorial que ocasionará una mayor erosión y resuspensión de sedimentos, esta movilización de partículas del suelo y los cuerpos de agua promoverá que se liberen los nutrientes atrapados en ellas y el agua incremente aún más las concentraciones de otros contaminantes. Cabe añadir que una mayor lluvia ocasionará un lavado más intenso de los contaminantes en el suelo que llegarán a los cuerpos de agua en mayor cantidad que, conjuntamente con la eutrofización, degradará la calidad del agua. Por otro lado, en las latitudes medias y subtropicales se disminuirá la lluvia, que hará que los flujos de agua y el cambio de agua en los ríos y sistemas lagunares sea más lento, consecuentemente el efecto de los nutrientes y contaminantes será más grave porque permanecen más tiempo. Adicionalmente, una disminución en la aireación del agua provocará que la calidad de agua se deteriore, lo que propiciará la destrucción de los ecosistemas, situación común en el aumento y disminución de las lluvias.

El cambio en la velocidad de viento predicho para mediados del siglo XXI, de persistir las tendencias actuales, al igual que el patrón de lluvias no será uniforme y habrá incremento en la velocidad de viento en ciertas regiones y reducción en otras. Los efectos más notorios del viento son empujar los florecimientos algales fuera de los lagos y de los ríos y, mezclar las diferentes capas en los cuerpos de agua, la mezcla ocasiona que los nutrientes en los sedimentos retornen al agua. Conjuntamente con el aumento de la temperatura, el mezclado del agua caliente de las capas superficiales con el agua fría del fondo, acelera la volatilización de contaminantes en el agua y los procesos que ocurren en el agua se incrementan de forma directa con la temperatura.

La conjunción de la eutrofización y el cambio climático es observable ya, en el año 2020, entre mayo y junio, 330 elefantes murieron en Botsuana por la ingestión de cianotoxinas en su fuente de agua, el afloramiento de las cianobacterias producto de la eutrofización y el aumento de la concentración de las cianotoxinas por la evaporación del agua por las altas temperaturas y la sequía por el cambio del patrón de lluvias. Existe evidencia fósil que muestra muerte masiva de megafauna en lagos del Pleistoceno y el Eoceno, que puede ser atribuida a intoxicación por cianobacterias que, probablemente, incrementaron dramáticamente sus poblaciones por el cambio climático en estos períodos.

La eutrofización cultural es un problema grave en la contaminación del agua, porque aumenta en intensidad y cobertura, lo que ocasiona que cada vez haya menos fuentes adecuadas de abastecimiento para uso humano, la presencia de natas de algas dificulta la navegación y el uso para la generación de energía está limitado, en ambos casos, por el taponamiento que ocasionan en los motores y sistemas de producción, respectivamente.

En resumen, la eutrofización cultural nos puede dejar sin agua para beber, uso doméstico, industrial ni para la navegación.

LITERATURA RELEVANTE

- Mee, L. (2006). Reviving Dead Zones. *Scientific American*, 78-85.
- Nazari-Sharabian, M., Ahmad, A., y Karakouzian, M. (2018). Climate Change and Eutrophication: A Short Review. *Engineering, Technology and Applied Science Research*, 8(6), 3668-3672.
- Wang, H., Xu, C., Liu, Y., Jeppesen, E., Svenning, J.C., Wu, J., Zhang, W., Zhou, T., Wang, P., Nangombe, J. Ma, Duan, H., Fang, J., y Xie, P. (2021). From unusual suspect to serial killer: Cyanotoxins boosted by climate change may jeopardize megafauna. *The Innovation*, 2(2), 100092.

