

ENTRE LO DULCE Y LO SALADO: EL DELICADO EQUILIBRIO DEL AGUA Y LA SAL EN LOS CRUSTÁCEOS

Jennyfers Chong Robles, Ivone Giffard Mena
y Araceli Patrón Soberano



Resumen

Los animales que viven en el agua enfrentan un reto fascinante: mantener su cuerpo en equilibrio ante cambios constantes en la salinidad y el volumen de agua. Para sobrevivir, han desarrollado estrategias asombrosas que regulan la cantidad de agua y sales en su interior, evitando que sus células se hinchen o se deshidraten. Los crustáceos, como camarones y cangrejos, cuentan con órganos especializados que funcionan como auténticas “estaciones de control”, adaptando su cuerpo a distintos ambientes acuáticos desde etapas muy tempranas de su vida. Un ejemplo destacado es el camarón blanco, que puede sobrevivir tanto en agua dulce como salada, ajustando de manera precisa su equilibrio interno según se va desarrollando. Comprender estos mecanismos no solo revela la ingeniosa adaptación de estos animales, sino que también permite mejorar su cultivo, garantizando su salud y crecimiento de manera más eficiente y sostenible.

Introducción

¿Alguna vez te has preguntado cómo los animales marinos logran sobrevivir en el agua salada sin deshidratarse? De manera extraordinaria, estos organismos enfrentan el desafío del medio acuático mediante un trabajo constante para regular tanto el volumen de agua como la concentración de sustancias en su cuerpo, manteniendo

en equilibrio sus condiciones internas u homeostasis. Este proceso lo compartimos con ellos: mientras tú bebes agua para equilibrar tu organismo, ellos han desarrollado estrategias fascinantes para sobrevivir en diversos ambientes acuáticos. Incluso han evolucionado sus propias formas especializadas de “beber” agua, adaptándose perfectamente a las demandas de su entorno.

Este delicado equilibrio, u homeostasis, ocurre en los fluidos internos: la sangre en vertebrados (incluido el ser humano) y la hemolinfa¹ en invertebrados, como los crustáceos. Dentro de estos fluidos circulan electrolitos (partículas cargadas, llamadas iones) y otras moléculas pequeñas que actúan como reguladores osmóticos, controlando el movimiento del agua hacia dentro y hacia fuera de nuestras células. Para medir la concentración de iones y partículas con precisión, los científicos utilizamos un valor que indica cuántas partículas disueltas hay por kilogramo de líquido u osmolalidad (mOsm/kg). En el mundo acuático, la cantidad de sales o salinidad del agua (principalmente sal común o NaCl) también se puede expresar en términos de osmolalidad, y se calcula en general que una salinidad de 34 corresponde a 1000 mOsm/Kg (Bradley, 2009). Así pues, la osmolalidad funciona como un termómetro de la salud interna, al igual que la presión arterial nos ayuda a evaluar nuestro sistema cardiovascular. En los animales, conocer estos valores nos permite a los investigadores comprender tanto su estado de salud como sus increíbles adaptaciones a diferentes ambientes acuáticos (Lignot et al., 2000).

[1] Líquido que circula por el cuerpo de invertebrados (insectos, cangrejos, camarones) cumpliendo funciones similares a nuestra sangre.

La sobrevivencia en el medio acuático implica adaptaciones específicas

Para los organismos que viven en el agua, su entorno representa un reto constante y fascinante. El tipo de agua en la que habitan -dulce o salada- les impone exigencias completamente diferentes para mantener el equilibrio interno de iones esenciales, como el sodio (Na^+) y el cloro (Cl^-). Dependiendo del nivel de salinidad de su entorno, estos organismos deben ajustar constantemente la osmolalidad de sus fluidos internos. Su objetivo es crucial: mantener baja la concentración de sodio en sus células, ya que niveles elevados pueden ser tóxicos para el funcionamiento celular (Natochin, 2010).

Un crustáceo puede funcionar como (Taylor y Taylor, 1992):

- Regulador osmótico: manteniendo una osmolalidad interna diferente a la del ambiente.
- Conformista osmótico: adaptando su osmolalidad interna a la del medio externo, lo que reduce la necesidad de un gasto energético excesivo.

A lo largo de su evolución, los organismos acuáticos han desarrollado diversas formas de regular el volumen y la concentración de sus fluidos internos. El grupo de los crustáceos, en donde se incluyen a los camarones, cangrejos, langostas y langostinos, ha

conquistado distintos hábitats acuáticos, enfrentando desafíos extremos y desarrollando estrategias fisiológicas para sobrevivir en ambientes con distintas concentraciones de sal. Una de estas adaptaciones es la capacidad de moverse o trasladarse entre ambientes de salinidad diferente a lo largo de su ciclo vital y en distintas etapas de su vida. Por ejemplo, los langostinos *Macrobrachium rosebergi* viven y se reproducen en agua dulce, pero las hembras liberan las larvas en estuarios² para su desarrollo; en contraste, los camarones marinos, como el camarón blanco *Litopenaeus vannamei*, siguen el patrón opuesto: los adultos viven y reproducen en el océano, mientras que sus postlarvas³ crecen en zonas costeras con salinidad variable (FAO, 2009) (Figura 1).

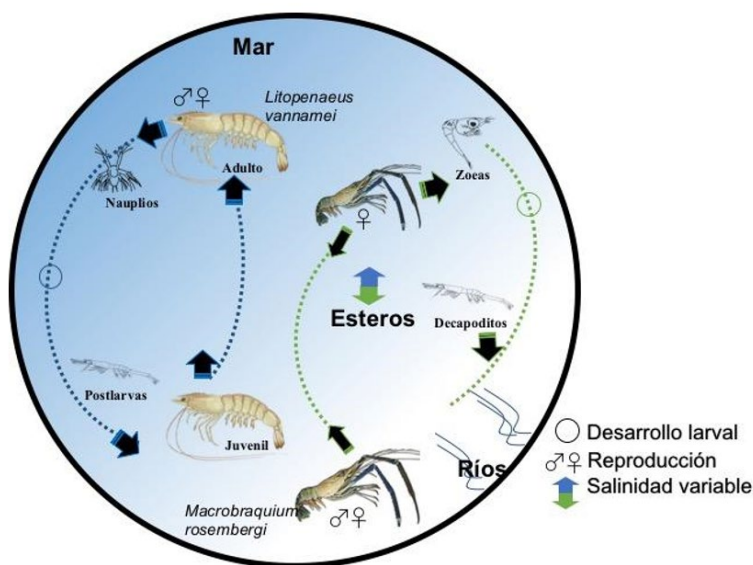


Figura 1. Ciclos de vida contrastantes entre crustáceos de agua dulce (río) y de agua salada (mar). (Imagen elaborada por los autores)

[2] Regiones en donde se mezclan el agua dulce de los ríos con el agua salada del mar.

[3] Etapa de desarrollo de un organismo cuando ya comienza a parecerse a un adulto en forma y comportamiento, pero aún debe crecer y completar su maduración.

Los crustáceos logran estos equilibrios gracias a órganos especializados que funcionan como verdaderas estaciones de control de agua y sales. Así como los humanos dependemos de los riñones para equilibrar el agua y los electrolitos en nuestro cuerpo, los crustáceos cuentan con estructuras u órganos altamente adaptados que forman un circuito fisiológico con células especializadas y mecanismos moleculares, que les permiten sobrevivir en ambientes con diferentes salinidades. (Taylor y Taylor, 1992).

El camarón blanco *Litopenaeus vannamei*: Un maestro de la adaptación osmorreguladora

El camarón blanco es una especie ampliamente conocida y cultivada a nivel mundial. Originario del Pacífico americano, desde Baja California hasta Perú, este crustáceo ha sido introducido en diversas regiones debido a su valor comercial y a su impresionante capacidad osmorreguladora. aún se desplazan por la columna de agua. Sin embargo, a partir de la etapa de postlarva 1 (PL1), comienzan a bajar poco a poco hacia mayores profundidades hasta establecerse en el fondo (FAO, 2009), mostrando extraordinariamente ya un comportamiento osmorregulador similar al de los juveniles y adultos (Chong-Robles et al., 2014).

En este punto, observamos a las post-larvas como ejemplares mini-camarones, con una cabeza y tronco bien diferenciados. En la cabeza se ubican las cámaras branquiales, cavidades que protegen a órganos que participan en el intercambio gaseoso e iónico entre el agua y la hemolinfa (líquido en su cuerpo que transporta el vital oxígeno). Las cámaras están delimitadas en su interior por una capa llamada pleura y otra externa llamada el branquiostegito, el cual es una extensión del caparazón que está en contacto con el exterior o medio acuático (Figura 2) (Chong-Robles, et al., 2024).

El camarón blanco comienza a desarrollar la capacidad de tolerar diferentes salinidades a partir de las etapas larvales. Durante la etapa de transición de Zoea⁴ a Mysis⁵, el branquiostegito empieza a crecer y a formar el espacio que posteriormente se convertirá en la cámara branquial. En esta etapa, las branquias aparecen como pequeñas gemas en desarrollo cuando se observan al microscopio (Fig. 2b), pero a medida que el camarón crece, las cámaras siguen desarrollándose y surgen los epipoditos⁶, estructuras laminares ubicadas entre las branquias. Entre las etapas PL15 y PL22 (es decir, con 15 y 22 días en la etapa postlarval), las branquias desarrollan más ramificaciones, mientras que, los epipoditos y branquiostegitos van creciendo y especializándose en la regulación iónica (Figura 3).

[4] Larva temprana de crustáceos con el cuerpo dividido en cefalotórax y abdomen, con apéndices en el cefalotórax modificados para la natación y ausencia de apéndices en el abdomen.

[5] Larva con morfología similar a un camarón, con un cuerpo alargado, ojos compuestos sobre pedúnculos y apéndices torácicos y abdominales bien desarrollados adaptados a la natación y alimentación.

[6] Apéndices en forma de Y que se localizan entre las branquias.

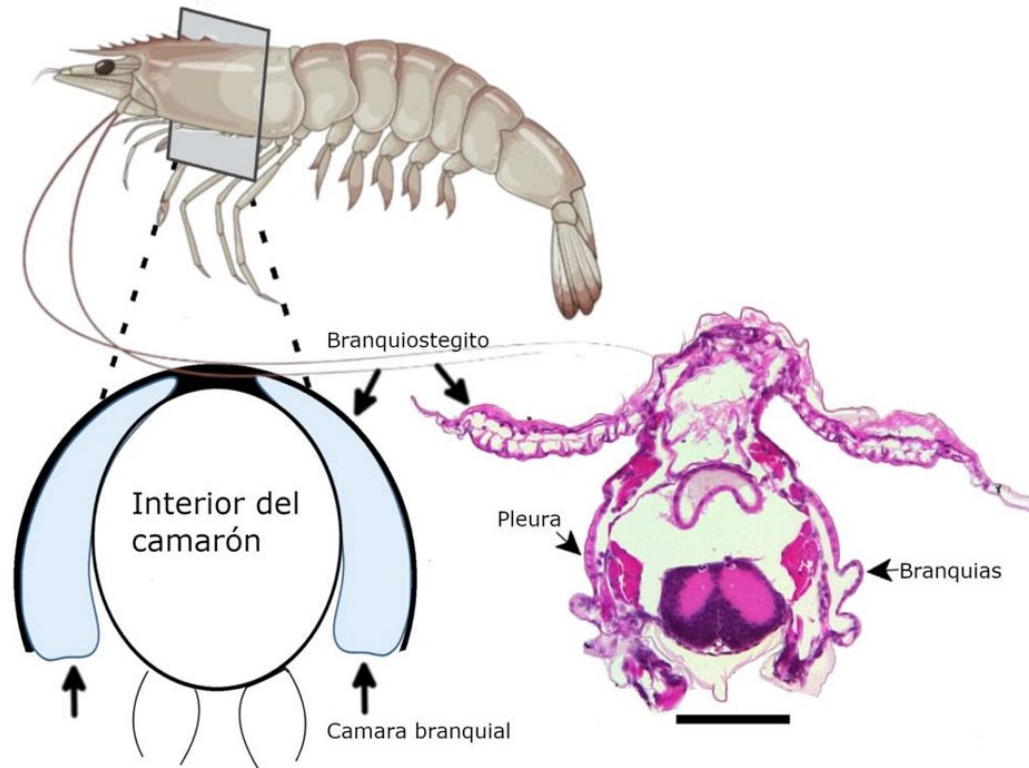


Figura 2. a) Esquema de un corte transversal del camarón para ilustrar las cámaras branquiales formadas entre el branquiostegito y la pleura. b) Corte transversal en la etapa larval Mysis (Imágenes elaboradas en GIMP).

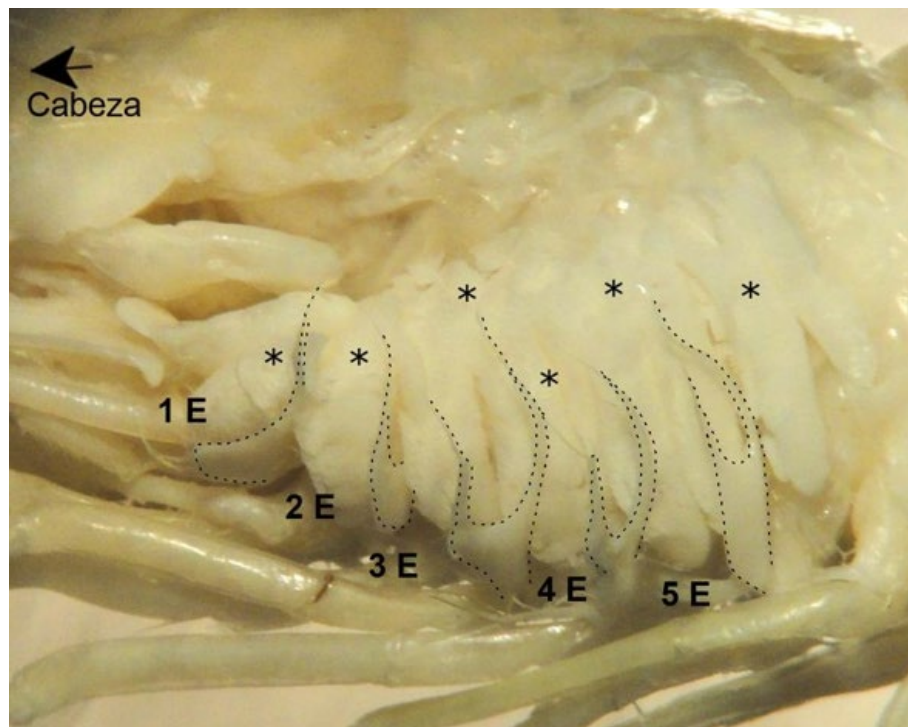


Figura 3. Branquias y epipoditos en una cámara branquial del camarón blanco *Litopenaeus vannamei*. Las branquias están señaladas con un asterisco. E, Epipodito. Modificado de Chong-Robles et al. (2024) (Imágenes elaboradas en GIMP)

La especialización de estos órganos consiste en el desarrollo de epitelios formados por células conocidas como ionocitos⁷, que presentan una abundancia de mitocondrias. Estos organelos funcionan como estaciones de generación de energía para que proteínas como la enzima ATPasa Na^+/K^+ (NKA, o bomba de sodio potasio) participe en la osmorregulación. La NKA es un sistema de transporte activo crucial que ha evolucionado para mantener los gradientes de sodio y potasio a través de la membrana celular, asegurando la homeostasis celular. En el camarón blanco *L. vannamei*, la regulación activa de iones ocurre en los branquiostegitos y los epipoditos, pero no en las branquias (Chong-Robles et al., 2024).

La osmorregulación: clave para el cultivo sostenible

El camarón blanco es un regulador osmótico; es decir, la osmolalidad de la hemolinfa varía según la salinidad del medio acuático. Increíblemente esta capacidad la adquiere desde la primera postlarva, aun cuando la cámara branquial no está completamente desarrollada.

En agua de baja salinidad: actúa como hiperosmorregulador, manteniendo la concentración de solutos en su hemolinfa por encima de la del agua circundante para evitar la entrada excesiva de agua en su organismo.

En agua de alta salinidad: Se comporta como hipoosmorregulador, reduciendo la osmolalidad interna para minimizar la pérdida de agua.

En el punto en el que la concentración entre los fluidos internos y el medio externo es similar (punto isomótico), el camarón necesita osmorregular la concentración intracelular de sodio. En ambientes de baja salinidad, el bajo nivel de sodio en el exterior representa un desafío, ya que provoca un flujo de agua hacia el interior del organismo. Lo que compromete su homeostasis si no se activan los mecanismos de regulación iónica; los organismos absorben agua (Chong-Robles et al., 2014) (Figura 4).

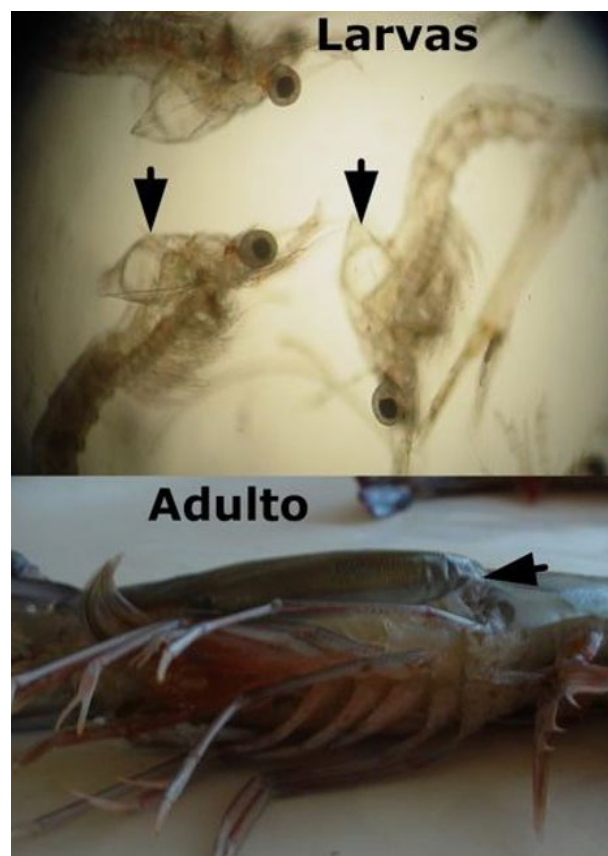


Figura 4. Efecto sobre la morfología de larvas y adultos del camarón *L. vannamei* mantenidos en un ambiente de baja salinidad. Las flechas señalan la región del branquiostegito con una notoria “bolsa de agua” (Imágenes elaboradas en GIMP).

[7] Célula especializada en el transporte de sales

Por ello, comprender los mecanismos de osmorregulación en el camarón blanco es fundamental para optimizar su cultivo. Los cambios bruscos en la salinidad requieren que el organismo reajuste rápidamente su equilibrio hídrico y de sales. Y aunque en especies como *L. vannamei* esto ocurre a una mayor velocidad mientras más desarrollado está su sistema osmoregulador, es un proceso que puede tardar hasta 12 hr en etapas postlarvales (Chong-Robles et al., 2014). El reajuste demanda demasiada energía, lo que reduce la disponibilidad de recursos para el crecimiento y la defensa contra enfermedades. Por lo que factores externos como la calidad del agua y la alimentación son determinantes para crear las condiciones óptimas para que los camarones puedan llevar a cabo el proceso de osmorregulación de manera más eficiente, reduciendo el gasto energético.

El papel de la glándula antenal en la eliminación del exceso de agua y la regulación de sales, similar a la función que desempeñan nuestros riñones, se desconoce en *L. vannamei*. El conocimiento de la regulación del volumen de agua ayudaría a una mejor comprensión de la osmorregulación en la especie y permitiría sugerir estrategias de manejo acuícola más eficientes, favoreciendo una mejor supervivencia y un crecimiento óptimo con el menor gasto energético posible.

La investigación continua en esta área es crucial para profundizar nuestro conocimiento de la biología de estos organismos, conocimiento que tiene implicaciones significativas para la acuicultura y se vuelve fundamental para entender la sostenibilidad de las poblaciones silvestres en un ambiente creciente-

mente afectado por el cambio climático. En un contexto en el que los patrones de distribución de muchas especies de crustáceos se localizan en regiones vulnerables a estos cambios, como lagunas y esteros.

Referencias

- Bradley, T. J. (2009). Animal Osmoregulation. Oxford University Press Inc., Oxford, New York.
- Chong-Robles, J., Giffard-Mena, I., Charmantier, G., Boulo, V., Lizárraga-Valdéz, J., y Enriquez-Paredes, L. M. (2014). Osmoregulation pattern and salinity tolerance of the white shrimp *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) during post-embryonic development. *Aquaculture*, 422–423, 261–267. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.11.034>.
- Chong-Robles, J., Giffard-Mena, I., Patrón-Soberano, A., Charmantier, G., Boulo, V., y Rodarte-Venegas, D. (2022). Ontogenetical development of branchial chambers of *Litopenaeus vannamei* (Boone, 1931) and their involvement in osmoregulation: Ionocytes and Na^+/K^+ -ATPase. *Cell and Tissue Research*, 390, 385–398. <https://doi.org/10.1007/s00441-022-03675-0>.
- FAO. 2009. *Macrobrachium rosenbergii* y *Litopenaeus vannamei*. In Cultured aquatic species fact sheets. Text by New, M. B. Edited and compiled by Valerio Crespi and Michael New.
- Lignot, J. H., Spanings-Pierrot, C., y Charmantier, G. (2000). Osmoregulatory capacity as a tool in monitoring the physiological condition and the effect of stress in crustaceans. *Aquaculture*, 191, 209–245. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00429-4](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00429-4).

Natochin, Y. V. (2010). The origin of membranes. *Paleontological Journal*, 44, 860–869. <https://doi.org/10.1134/S0031030110070142>.

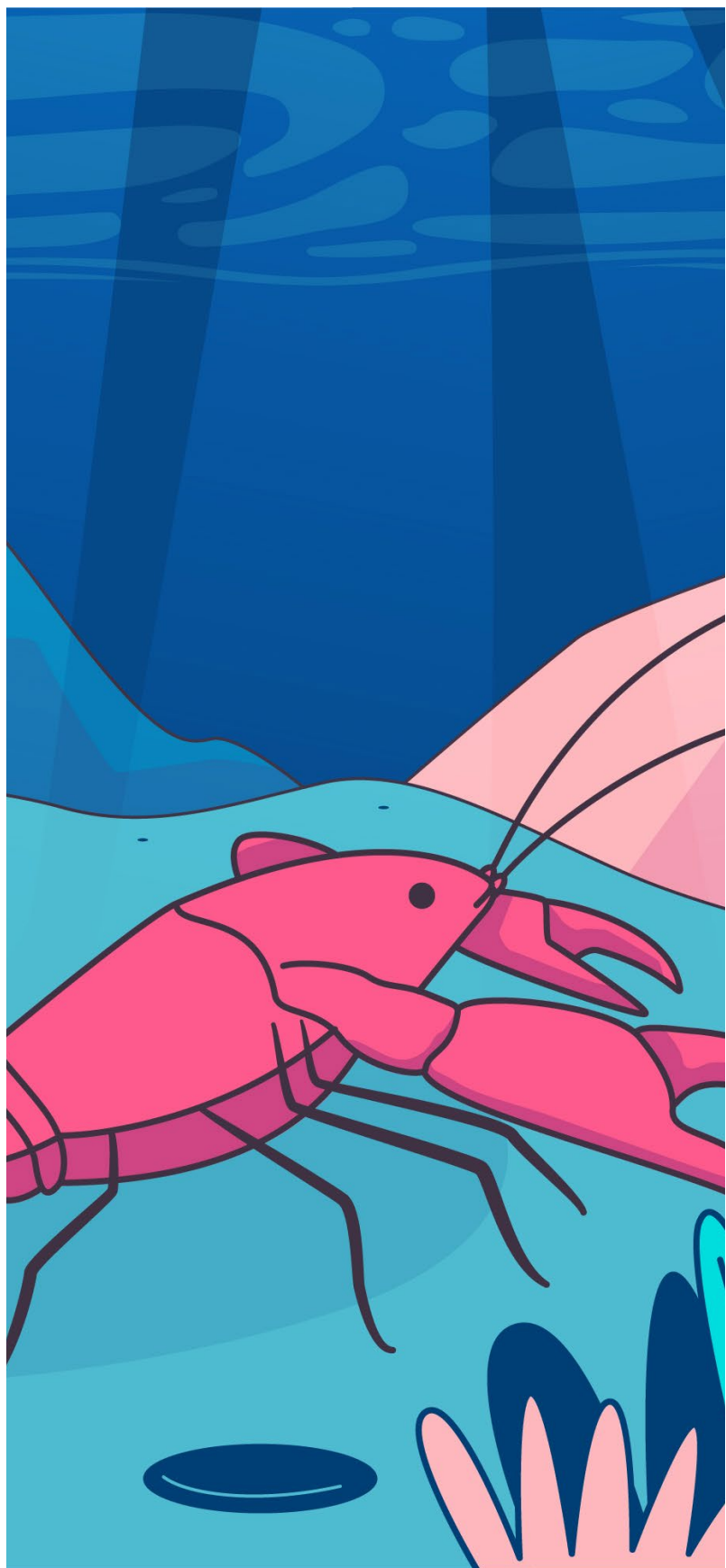
Taylor, H., y Taylor, E. (1992). Gills and lungs: The exchange of gases and ions. In F. Harrison & A. Humes (Eds.), *Microscopic anatomy of invertebrates* (Vol. 10, pp. 203–293). Wiley-Liss, Inc. New York.

Dra. Jennyfers Chong Robles. Profesora de asignatura en la Universidad Autónoma de Baja California. Su línea de investigación adopta un enfoque integrador y multidisciplinario para comprender los mecanismos fisiológicos que regulan el funcionamiento de los invertebrados marinos. Adscrita a la Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Baja California. Email: chong.jennyfers@uabc.edu.mx.

Dra. Ivone Giffard Mena. Profesora investigadora de tiempo completo, cuya línea de investigación es sobre fisiología molecular, adscrita a la Facultad de Ciencias Marinas, Universidad Autónoma de Baja California. Email: igiffard@uabc.edu.mx

Dra. O. Araceli Patrón Soberano. Técnica académica especializada en microscopía óptica y electrónica. Dedicada al estudio morfológico de tejidos animales, vegetales, hongos, bacterias y nanomateriales. Adscrita al Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, A.C., División de Biología Molecular.

Email: araceli.patron@ipicyt.edu.mx



La **PSIQUE** **NO** es **de HULE**

ΨIMPORTANCIA
de la **SALUD MENTAL**

El Consejo Editorial de la revista digital **PaCiencia Pa'Todos** invita a la comunidad académica y al público interesado a enviar artículos de divulgación científica para su publicación.

PaCiencia Pa'Todos es una revista digital semestral de la Facultad de Estudios Superiores Aragón, UNAM, adscrita a la Cátedra UNESCO Universidad e Integración Regional. Tiene como propósito acercar la ciencia, la tecnología, la cultura y el arte a un público amplio, en especial a jóvenes de bachillerato y licenciatura interesados en el conocimiento.

Las contribuciones deben redactarse en un lenguaje claro, ágil y atractivo, evitando tecnicismos innecesarios. En caso de emplear términos especializados, estos deberán explicarse de manera sencilla para garantizar su comprensión por un público diverso. Como parte de nuestras buenas prácticas editoriales, utilizamos el software Compilatio para la detección de plagio y el uso de inteligencia artificial en la redacción de sus artículos, por lo que les informamos que se acepta *un máximo del 15 % de uso de IA en la elaboración de sus artículos*.

En esta edición, el **número 20** de la revista está dedicado a reflexionar sobre el tema:

La psique no es de hule: la importancia de la salud mental

Buscamos artículos que exploren cómo la ciencia, la tecnología, la educación y la cultura han contribuido a la construcción y el fortalecimiento de la salud mental, pero también cómo visualizamos y tratamos de superar el estrés, ansiedad, frustración y otras situaciones en nuestra vida, los cambios a lo largo de las generaciones y las perspectivas a futuro.

Convocatoria abierta hasta el **31 de mayo de 2026**

Consulta la política editorial y las recomendaciones para autores, así como el envío de trabajos, en:

<https://publicaciones.aragon.unam.mx>

Contacto: pa.ciencia.pa.todos2020@gmail.com



Facultad de
Estudios
Superiores
Aragón
Órgano oficial de información

