

A large number of glowing blue jellyfish swimming in a dark tank. The jellyfish are of various sizes and species, some showing distinct patterns on their bells. The background is dark, making the bioluminescent jellyfish stand out prominently.

EL ASOMBROSO PODER DE LA REGENERACIÓN EN LAS ESCIFOMEDUSAS

The amazing power of regeneration in
scyphomedusae

Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (1): 103-114. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.01.0009>

Edgar Gamero-Mora^a y Adriana Muhlia Almazán^a

^aLaboratorio de Bioenergética y Genética Molecular, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, Hermosillo, Sonora 83304, México.

*Autor de correspondencia: amuhlia@ciad.mx



Resumen

La regeneración es un proceso biológico altamente especializado que les permite a los organismos reconstruir células, tejidos, órganos o estructuras corporales dañadas o mutiladas. Hablando de animales, todos se regeneran; sin embargo, las habilidades regenerativas de cada grupo animal son distintas. En este sentido, asombrosas capacidades regenerativas se suelen asociar con los primeros animales que poblaron la Tierra, como las medusas. Dentro del grupo de las medusas (medusozoos), existen organismos que han sido claves para el estudio y entendimiento del fenómeno de la regeneración, tal es el caso de la hidra; cuyo nombre está inspirado en el monstruo mitológico capaz de regenerar dos cabezas cada vez que una era cortada. En este texto, exploraremos datos de medusozoos que poseen capacidades regenerativas igualmente sorprendentes a las de la hidra; algunos de ellos, capaces de regenerar un organismo entero a partir de tejido desintegrado. Además, conocerás sobre los mecanismos celulares que explican la regeneración, así como el impacto de su estudio en el campo de la biomedicina, por ejemplo, para entender mejor los procesos de cicatrización, regeneración de tejidos humanos y enfermedades como el cáncer.

Palabras clave: cicatrización, cnidarios, escifozoos, proliferación celular, terapias.

Abstract

Regeneration is a process by which individuals can replace or repair lost or damaged cells, tissues, organs, or even entire structures, such as limbs. Although at different extents, this process is spread in all the branches of the animal tree of life. However, more extensive regenerative capacities are usually

found in early diverging animals, like jellyfish. Within medusozoans, we can find organisms that have been key for studying regeneration, including the one so-called hydra, whose name is inspired by the mythological monster Hydra of Lerna, which was able to regrow two heads every time one of them was cut off. Along this document, you will get information about medusozoans with regenerative capacities as astonishing as those of hydra. Some of those can regenerate an entire organism from a small tissue fragment of the original animal. You will also learn about the current state of knowledge on the cellular mechanisms involved in jellyfish regeneration and how its study could impact regenerative medicine and cancer research.

Key words: cell proliferation, cnidarians, jellyfish, regenerative medicine, wound healing.

Entendiendo la regeneración

La regeneración es el proceso por el cual los organismos son capaces de reparar o reconstruir estructuras corporales dañadas o perdidas (Turwankar y Ghaskadbi, 2019). Según estudios previos, las habilidades regenerativas de cada especie animal son distintas, algunas especies son capaces de regenerar células, tejidos u órganos, mientras que otras pueden regenerar estructuras completas (Reddy *et al.*, 2019). Por ejemplo, ciertas especies de vertebrados (animales con columna vertebral), como las salamandras, son capaces de regenerar extremidades mutiladas (Dwaraka y Voss, 2021). Sin embargo, no todos los vertebrados tienen esa capacidad. A decir verdad, la habilidad regenerativa de los vertebrados suele ser limitada si la comparamos con la de los invertebrados (animales sin columna vertebral) (Adhikary y Hui, 2021).

Hablando de invertebrados, algunos ejemplos de

regeneración asombrosos están en el grupo animal en el que se clasifica a las medusas, Medusozoa (también llamados medusozoos). Aunque su nombre lo sugiere, no todos los medusozoos tienen fase medusa. En este sentido, uno de los primeros organismos en ser estudiados para entender mejor la regeneración animal fue la “hidra”, un medusozoo que carece de fase medusa (ver figura 1A).

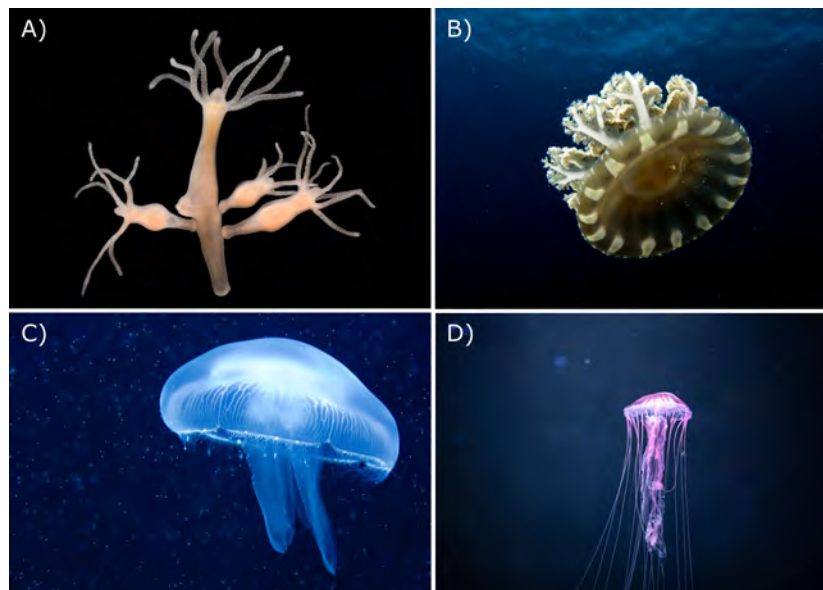


Figura 1. Especímenes de medusozoos. A) Hidra (*Hydra* sp.), B) medusa invertida (*Cassiopea* sp.), C) medusa luna (*Aurelia* sp.), D) ortiga de mar (*Chrysaora* sp.). Créditos: las imágenes provienen de iStock (<https://www.istockphoto.com/>).

La capacidad regenerativa de este pequeño animal se comenzó a estudiar en el siglo XVIII, cuando el naturalista Abraham Trembley cortó un espécimen en dos partes y al cabo de unos días observó que ambas mitades se habían regenerado y formado nuevos individuos completos (Trembley, 1744). Con el paso de los años, hidra comenzó a consolidarse como un organismo modelo para el estudio de la regeneración (Vogg *et al.*, 2019). Paralelamente, otras especies comenzaron a ser usadas para estudiar el mismo fenómeno, incluyendo las escifomedusas, las cuales, se conocen como medusas verdaderas porque son medusozoos que tienen una fase medusa conspicua en su ciclo de vida (ver figuras 1B-D). Estas especies, también han



demostrado tener capacidades regenerativas sorprendentes, de las cuales te hablaremos a continuación.

La regeneración a largo del ciclo de vida de las escifomedusas

Las escifomedusas tienen un ciclo de vida a lo largo del cual, algunas especies, muestran estrategias de regeneración fascinantes.

Como se muestra en la figura 2, las escifomedusas adultas, hembra y macho, liberan al agua células (gametos), que al fusionarse forman un cigoto que se desarrollará en una larva, también conocida como **larva plánula**, misma que se convertirá a través de un proceso de metamorfosis en un pequeño individuo con forma de copa (también llamado cáliz) con un largo pedúnculo (tallo) y muchos tentáculos, conocido como **pólipo**. Los pólipos se pueden reproducir de varias maneras, incluyendo el crecimiento lateral de pequeñas yemas que crecen en su pedúnculo, denominados

propágulos, que después de liberarse formarán nuevos pólipos. Por otro lado, los pólipos también pueden reproducirse al dividirse en uno o varios segmentos que dan lugar a una o múltiples medusas juveniles llamadas **éfiras**, este proceso es denominado estrobilación (ver figura 2) (Helm, 2018; Nevárez-Galván, 2020).

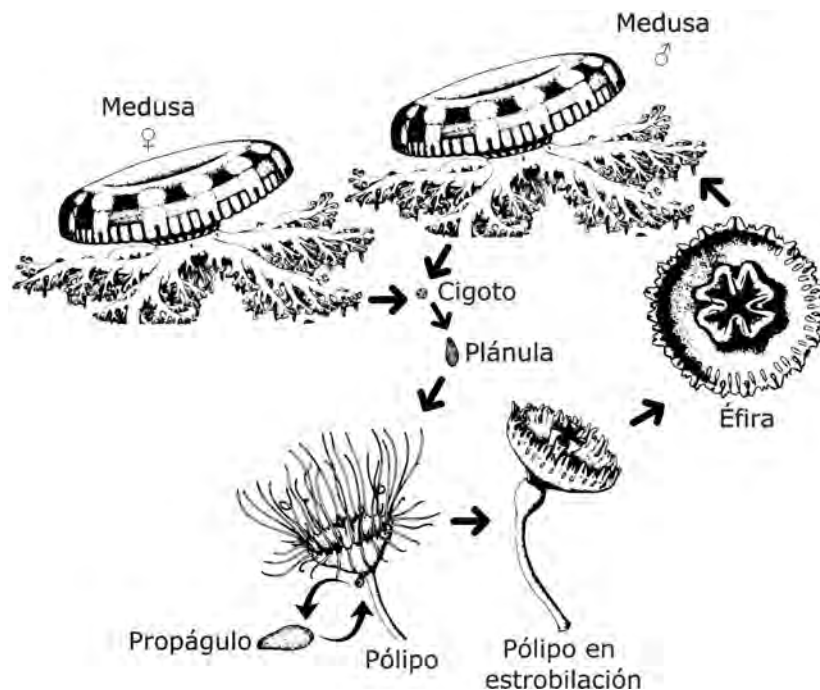


Figura 2. Ciclo de vida de la medusa *Cassiopea xamachana*. La imagen es ilustrativa y las diferencias en tamaño mostradas no representan las diferencias reales entre las distintas fases del ciclo de vida de la medusa. Créditos: imagen modificada de Colley y Trench, 1983.

Hasta la fecha, el conocimiento que tenemos sobre la regeneración de las escifomedusas está basado principalmente en observaciones de distintas fases del ciclo de vida de la medusa invertida (*Cassiopea* spp.), de la medusa luna (*Aurelia* spp.) y de la ortiga de mar (*Chrysaora* spp.) (ver figuras 1B-D).

Estudios realizados en la medusa *Cassiopea* en sus fases de **larva plánula y propágulo**, permitieron determinar que sus extremos anterior y posterior al ser cortados, se regeneran y forman diferentes estructuras (ver figura 3A; Curtis y Cowden, 1974; Neumann, 1979).

A su vez, la capacidad regenerativa de cada pequeño **pólipo** también ha causado curiosidad entre los científicos. En *Cassiopea*, se han realizado investigaciones sobre la capacidad de regeneración del pedúnculo, el cáliz y los tentáculos. En pólipos de *Cassiopea*, al realizarse un corte para separar el pedúnculo del cáliz, se ha observado que el pedúnculo es capaz de regenerar el cáliz, mientras que el cáliz sin pedúnculo al ser cortado por la mitad regenera dos pólipos sin pedúnculo (ver figura 3B).

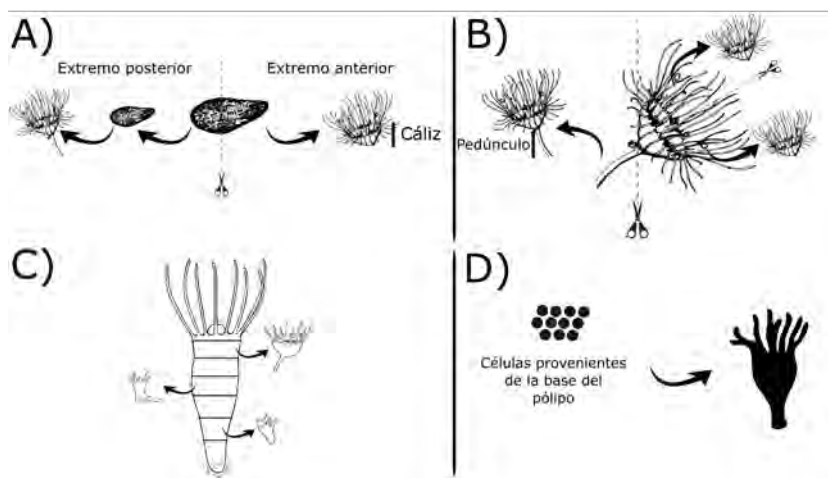


Figura 3. Regeneración en las fases de **larva plánula** y **pólipo** de distintas escifomedusas. A) Larva plánula de *Cassiopea* cortada transversalmente. El extremo posterior se regenera y forma una plánula capaz de formar un pólipo completo y el anterior forma un pólipo sin pedúnculo (cáliz). B) Pólipo de *Cassiopea* cortado en el pedúnculo del cáliz y después el cáliz se cortó por la mitad; el pedúnculo forma un nuevo pólipo y cada mitad de cáliz se regenera en uno nuevo pólipo sin pedúnculo. C) Regeneración de distintos segmentos de un pólipo de *Aurelia*. D) Pólipo de *Chrysaora* formado a partir de tejido disociado. Créditos: imágenes tomadas y modificadas de Gilchrist (1937), Colley y Trench (1983) y van Walraven et al. (2020)

Adicionalmente, se ha observado que un pólipo sin tentáculos es capaz de regenerarlos. Por el contrario, los tentáculos aislados no son capaces de generar un nuevo pólipo (Curtis y Cowden, 1974; Mammone *et al.*, 2023). A diferencia de *Cassiopea*, los pólipos de las medusas *Aurelia* y *Chrysaora* sí pueden regenerar pólipos a partir de un tentáculo (Herouard, 1913; Laurie-Lesh y Corriel, 1973). También se sabe que, si un pólipo de *Aurelia* es cortado transversalmente en varias secciones, cada una de ellas se regenera de distinta manera (ver figura 3C; Gilchrist, 1937)

y que el tejido disociado de *Chrysaora* es capaz de volverse a agregar para formar un pólipo nuevo (ver figura 3D; Black y Riley, 1985).

Por su parte, las **éfiras** son la fase menos estudiada en cuanto a su capacidad de regeneración. Por un lado, hay registros que muestran que el tejido desintegrado de éfiras de *Chrysaora* no es capaz de re-agregarse para regenerarlas (Black y Riley, 1985). Por otro lado, experimentos han mostrado que al amputar parcialmente el cuerpo de las éfiras de *Aurelia*, estas no tienden a regenerar la parte amputada, sino que reorganizan su estructura para recuperar su simetría mediante un proceso denominado simetrización (ver figura 4A).

Lo anterior, le permite a la éfira seguir funcionando y ahorrar la energía que hubiera invertido en regenerarse (Abrams *et al.*, 2015).

A diferencia de las otras fases, la fase **medusa** que cuenta con una campana, brazos orales y a veces

tentáculos (figuras 1B-D), posee músculos especializados para nadar y órganos sensoriales que le permiten orientarse e identificar estímulos ambientales (Fujita *et al.*, 2021).

Por lo anterior, una pregunta que surgió hace más de un siglo fue si las medusas serían capaces de regenerar dichas estructuras. Primeramente, se comprobó que las medusas del género *Cassiopea* son capaces de regenerarse después de ser heridas (Zeleny, 1907).

Posteriormente, estudios mostraron que estas medusas son capaces de regenerar una medusa completa a partir de tejido de la campana (ver figura 4B) (Gamero-Mora *et al.*, 2019; Ostendarp *et al.*, 2022).

A la fecha se desconocen las habilidades regenerativas de la mayoría de las especies de escifomedusas, incluyendo las de *Aurelia*; sin embargo, esta especie cuenta con una interesante estrategia de “rejuvenecimiento”. Se sabe que, a partir del agrupamiento de células separadas (agregación celular) de un adulto, se

pueden formar pólipos (He *et al.*, 2015), a dicho proceso se le llama reversión del ciclo de vida. La reversión del ciclo de vida está dirigida por los mismos mecanismos celulares y participan las mismas moléculas que hacen posible la regeneración. Por ello, se espera que la medusa *Aurelia* posea habilidades regenerativas sobresalientes.

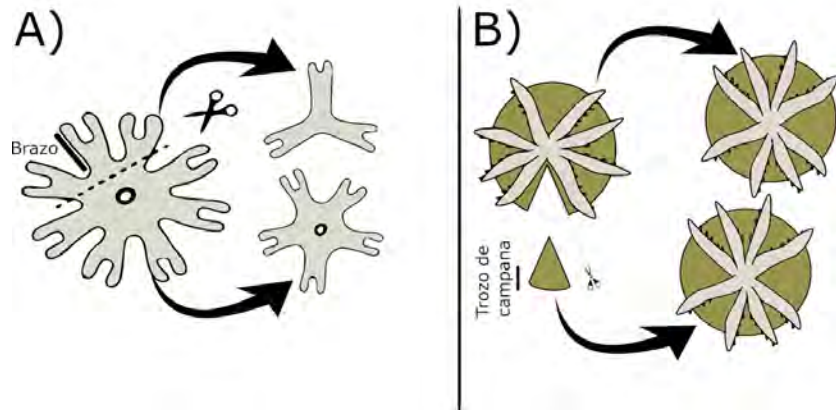


Figura 4. Simetrización y regeneración de éfiras y medusas. A) Simetrización en una éfira de *Aurelia*. B) Regeneración en la medusa *Cassiopea*; un trozo de la campana puede formar una nueva medusa y un organismo lesionado puede regenerar el trozo amputado. Créditos: imágenes tomadas y modificadas de A) Fujita *et al.*, 2021 y B) Ostendarp *et al.*, 2022.

¿Cómo y dónde sucede la magia de la regeneración de las escifomedusas?

Para comenzar, hay que mencionar que la regeneración de la célula involucra una serie de mecanismos en donde participan pequeñas moléculas específicas que interactúan y trabajan de manera coordinada (Li *et al.*, 2016). Estos mecanismos varían en cada especie de medusozoo y también cambian en función de la estructura que se va a regenerar. Por ejemplo, para la regeneración del cáliz, la hidra puede activar uno de dos mecanismos según la posición de la lesión. El primero es un aumento en el número de células (proliferación celular) en donde participan células capaces de transformarse en otras de distintos tipos, llamadas células intersticiales; mientras que el segundo mecanismo involucra la remodelación y reorganización de células

ya existentes (Turwankar y Ghaskadbi, 2019).

A diferencia de la hidra que tienen células intersticiales que le ayudan a la regeneración, las escifomedusas no las poseen (Gold y Jacobs, 2013); por lo que el mecanismo de proliferación celular no parece ser el principal mecanismo de regeneración en los pólipos de *Cassiopea* (Mammone *et al.*, 2023). Entonces, si la proliferación celular no es el motor de la regeneración en *Cassiopea*, ¿cuál podría ser? La sugerencia de los científicos es que la regeneración en el pólipo de esta especie podría ser el resultado de un proceso de migración celular (ver figuras 5A-B).

Esto significa que las células dañadas son remplazadas por células que provienen de regiones distintas y lejos del sitio de la lesión (Mammone *et al.*, 2023). Además, se ha encontrado que en las escifomedusas podría haber procesos celulares que aún no han sido claramente descritos, como la desdiferenciación

y transdiferenciación celular (Magdaleno-Izquierdo, 2020), que son procesos donde las células especializadas retroceden a células menos especializadas o cambian de linaje (ver figura 5C) o la intervención de células no caracterizadas capaces de transformarse en otros tipos de células (células madre) y amebocitos (Gold y Jacobs, 2013; Holstein, 2023; Mammone *et al.*, 2023). Estos últimos, son células móviles que forman parte del sistema inmune de los medusozoos (Gold y Jacobs, 2013).



Figura 5. Procesos celulares involucrados en la regeneración. A) Aumento en el número de células (proliferación), B) Migración de células al sitio de regeneración y C) Especialización de células (diferenciación), pérdida de especialización (desdiferenciación) y cambio de linaje celular (transdiferenciación).

A pesar de que, en especies como las hidromedusas del género *Clytia* el proceso de regeneración ha sido ampliamente estudiado (véase Sinigaglia *et al.*, 2020), a la fecha, la mayor parte de los estudios en escifomedusas fueron publicados hace más de dos décadas y se basan en observaciones de estructuras hechas a simple vista. En estas especies, los procesos y mecanismos que ocurren a nivel celular y molecular son aún desconocidos. Por ejemplo, no se sabe como se reorganiza y reestructura el soporte celular cuando las células se dividen y migran a tejidos específicos (Nayak *et al.*, 2013). Tampoco se sabe como adaptan su funcionamiento las mitocondrias de las células que están en regeneración para producir la energía necesaria para la división, la proliferación y la muerte celular controlada (apóptosis) (Zhang *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2023). Las mitocondrias de las medusas también están involucradas en la producción de moléculas altamente reactivas conocidas como especies reactivas de oxígeno, las cuales son necesarias para regular los sistemas de

señales celulares necesarios en la regeneración (Love *et al.*, 2013).

Así, como podemos ver, hay muchas preguntas interesantes que se pueden abordar con herramientas nuevas de mayor alcance como la biología molecular.

¿Por qué es importante estudiar la regeneración en las escifomedusas?

El estudio de la regeneración en escifomedusas es benéfico para el fortalecimiento de distintos campos de estudio en la biomedicina (ver figura 6).

Por ejemplo, conocer a fondo los mecanismos involucrados en la regeneración en distintas especies puede ayudar a entender cómo funciona la regeneración en los seres humanos (Godwin, 2014). Lo anterior, permitiría a su vez el desarrollo de terapias para la regeneración de células y tejidos dañados o lesionados (Ninov y Yun, 2015). En este sentido, la identificación de los genes involucrados

en la regeneración podría resultar útil en el desarrollo de terapias basadas en la modificación del material genético de las células (terapias génicas) que promuevan la activación de los mecanismos de regeneración en humanos (Hosseinkhani *et al.*, 2023).

El cáncer es una de las enfermedades en donde el estudio de la regeneración podría dar luz al avance en su entendimiento y control, pues existen señales celulares que comparten las células en regeneración y las células cancerígenas (Ding y Wang, 2017). Así, en un futuro, la investigación hecha para el desarrollo de terapias que estimulen la regeneración podría ser útil para tratar el cáncer. De igual manera, estudiar el papel de la mitocondria también es vital para el entendimiento del cáncer y la regeneración, ya que este organelo juega un papel importante en procesos como la proliferación y migración de células cancerígenas (metástasis) y la apoptosis (Iranmanesh *et al.*, 2021).

En la actualidad, compuestos obtenidos a partir de medusas, como el colágeno, ya están siendo evaluados para estimular la regeneración de tejidos en especies animales como las ratas de laboratorio (Cadar *et al.*, 2023).



Figura 6. Campos de estudio de la biomedicina que se fortalecen con el estudio de la regeneración en distintas especies animales, incluyendo las escifomedusas. Créditos: esta imagen fue diseñada con iconos de Flaticon.com (Freepik; max.icons).

Consideraciones finales y perspectivas

Ahora sabemos que existen escifomedusas que poseen capacidades regenerativas fascinantes en cada una de sus fases del ciclo de vida. Estas habilidades, las convierten en buenos candidatos para el estudio de la regeneración. No obstante, falta explorar el poder regenerativo de casi las 220 especies de escifomedusas que existen, así como profundizar su estudio desde una perspectiva celular y molecular. Lo anterior es importante porque el avance en este campo del conocimiento representará la base para el entendimiento de los procesos de regeneración celular, brindándonos la posibilidad de usar aplicaciones biotecnológicas para ofrecer alternativas que permitan la regeneración eficiente de órganos o tejidos humanos que sufren patologías o lesiones graves e irreversibles, mejorando así la salud humana. Sin embargo, el camino es largo para poder trasladar estos conocimientos de ciencia básica a aplicaciones clínicas.

Agradecimientos

Los autores agradecen al CONAHcyT por el apoyo al proyecto de Ciencia de Frontera 171862 otorgado a AMA y la beca posdoctoral otorgada a EGM (CVU 491802).

Referencias

- Abrams, M.J., T. Basinger, W. Yuan, C.L. Guo y L. Goentoro. 2015. *Self-repairing symmetry in jellyfish through mechanically driven reorganization*. Proceedings of the National Academy of Sciences 112 (26): E3365-E3373.
- Adhikary, S., y S.P. Hui. 2021. *The loss of regeneration competency in the animal kingdom at the expense of immunity: A journey in retrospect*. Brain, Behavior, and Immunity 94: 8-10.
- Black, R.E., y G.K. Riley. 1985. *Dissociation and reaggregation of cells of Chrysaora quinquecirrha (Cnidaria, Scyphozoa)*. Journal of Experimental Zoology 233 (3): 369-375.
- Cadar, E., A.M. Pesterau, R. Sirbu, B.S. Negreanu-Pirjol y C.L. Tomescu. 2023. *Jellyfishes—Significant marine resources with potential in the wound-healing process: A review*. Marine Drugs 21 (4): 201.
- Colley, N.J., y R.K. Trench. 1983. *Selectivity in phagocytosis and persistence of symbiotic algae by the scyphistoma stage of the jellyfish Cassiopeia xamachana*. Proceedings of the Royal Society of London Series B: Biological Sciences 219 (1214): 61-82.



- Curtis, S.K., y R.R. Cowden. 1974. *Some aspects of regeneration in the scyphistoma of Cassiopea (Class Scyphozoa) as revealed by the use of antimetabolites and microspectrophotometry*. American Zoologist 14 (2): 851-866.
- Ding, M., y X. Wang. 2017. *Antagonism between Hedgehog and Wnt signaling pathways regulates tumorigenicity*. Oncology letters 14 (6): 6327-6333.
- Dwaraka, V.B., y S.R. Voss. 2021. *Towards comparative analyses of salamander limb regeneration*. Journal of Experimental Zoology Part B: Molecular and Developmental Evolution 336 (2): 129-144.
- Fujita, S., E. Kuranaga y Y.I. Nakajima. 2021. *Regeneration potential of jellyfish: cellular mechanisms and molecular insights*. Genes 12 (5): 758.
- Gamero-Mora, E., R. Halbauer, V. Bartsch, S.N. Stampar y A.C. Morandini. 2019. *Regenerative capacity of the upside-down jellyfish Cassiopea xamachana*. Zoological Studies 58: 37.
- Gilchrist, F. G. 1937. *Budding and locomotion in the scyphistomas of Aurelia*. The Biological Bulletin 72 (1): 99-124.
- Godwin, J. 2014. *The promise of perfect adult tissue repair and regeneration in mammals: learning from regenerative amphibians and fish*. BioEssays 36 (9): 861-871.
- Gold, D.A., y D.K. Jacobs. 2013. *Stem cell dynamics in Cnidaria: Are there unifying principles?*. Development Genes and Evolution 223: 53-66.
- He, J., L. Zheng, W. Zhang y Y. Lin. 2015. *Life cycle reversal in Aurelia sp. 1 (Cnidaria, Scyphozoa)*. PLoS One 10 (12): e0145314.
- Helm, R.R. 2018. *Evolution and development of scyphozoan jellyfish*. Biological Reviews 93 (2): 1228-1250.
- Herouard, E. 1913. *Relations entre la dépression et la formation de pseudoplanula tentaculaires chez le scyphistome*. Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des sciences 156: 1093-1095.
- Holstein, T.W. 2023. *The Hydra stem cell system – Revisited*. Cells & Development 174: 203846.
- Hosseinkhani, H., A.J. Domb, G. Sharifzadeh y V. Nahum. 2023. *Gene therapy for regenerative medicine*. Pharmaceutics 15 (3): 856.
- Iranmanesh, Y., B. Jiang, O.C. Favour, Z. Dou, J. Wu, J. Li y C. Sun. 2021. *Mitochondria's role in the maintenance of cancer stem cells in glioblastoma*. Frontiers in Oncology 11: 582694.
- Laurie-Lesh, G.E., y R. Corriel. 1973. *Scyphistoma regeneration from isolated tentacles in Aurelia aurita*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 53 (4): 885-894.
- Li, J., S. Zhang y E. Amaya. 2016. *The cellular and molecular mechanisms of tissue repair and regeneration as revealed by studies in Xenopus*. Regeneration 3: 198-208.

- Love, N.R., Y. Chen, S. Ishibashi, P. Kritsiligkou, R. Lea, Y. Koh, J.L. Gallop, K. Dorey y E. Amaya. 2013. *Amputation-induced reactive oxygen species are required for successful Xenopus tadpole tail regeneration*. Nature Cell Biology 15 (2): 222-228.
- Magdaleno-Izquierdo, V.H. 2020. *Generación de precursores neurales: participación de entornos neurales, medios condicionados como agentes inductores sobre queratinocitos*. Maestro en medicina molecular. Universidad Autónoma Del Estado De Morelos. México. 111 pp.
- Mammone, M., V. Sharp, M. Hewitt y M. Medina. 2023. *The influence of photosymbiosis in Cassiopea xamachana regenerative success*. Symbiosis 90: 61-70.
- Nayak, R.C., K.H. Chang, N.S. Vaitinadin y J.A. Cancelas. 2013. *Rho GTPases control specific cytoskeleton-dependent functions of hematopoietic stem cells*. Immunological reviews 256 (1): 255-268.
- Nevarez-Galván, E.I. 2020. *Reproducción en medusas comunes (escifozoos)*. Recursos Naturales y Sociedad 6 (1): 01-12.
- Neumann, R. 1979. *Bacterial induction of settlement and metamorphosis in the planula larvae of Cassiopea andromeda (Cnidaria: Scyphozoa, Rhizostomeae)*. Marine Ecology Progress Series 1: 21-28.
- Ninov, N., y M.H. Yun. 2015. *Current advances in tissue repair and regeneration: the future is bright*. Regeneration 2 (2): 84-91.
- Ostendarp, M., J. Plewka, J. Flathmann, A. Tilstra, Y.C. El-Khaled y C. Wild. 2022. *Complete and rapid regeneration of fragments from the upside-down jellyfish Cassiopea*. Frontiers in Marine Science 9: 949233.
- Reddy, P.C., A. Gungi y M. Unni. 2019. *Cellular and molecular mechanisms of Hydra regeneration*. pp. 259-290. En: Tworzydło W., y S.M. Bilinski (Eds.). *Evo-Devo: Non-model Species in Cell and Developmental Biology*. Springer. Cham, Switzerland. 551 pp.
- Sinigaglia, C., S. Peron, J. Eichelbrenner, S. Chevalier, J. Steger, C. Barreau, E. Houliston y L. Leclère. 2020. *Pattern regulation in a regenerating jellyfish*. Elife 9: e54868.
- Trembley, A. 1744. *Mémoires, pour servir à l'histoire d'un genre de polypes d'eau douce, à bras en forme de cornes* (Vol. 1). Chez Jean & Herman Verbeek.
- Turwankar, A., y S. Ghaskadbi. 2019. *VEGF and FGF signaling during head regeneration in hydra*. Gene 717: 144047.
- van Walraven, L., J. van Bleijswijk y H.W. van der Veer. 2020. *Here are the polyps: in situ observations of jellyfish polyps and podocysts on bivalve shells*. PeerJ 8: e9260.
- Vogg, M.C., B. Galliot y C.D. Tsiarris. 2019. *Model systems for regeneration: Hydra*. Development 146 (21): dev177212.



- Zeleny, C. 1907. *The effect of degree of injury, successive injury and functional activity upon regeneration in the scyphomedusan, Cassiopea xamachana*. Journal of Experimental Zoology 5: 265–274.
- Zhang, H., Y.F. Chang y J. Liu. 2022. *Editorial: Regulation of mitochondrial function on animal diseases*. Frontiers in Veterinary Science 9: 943860.
- Zhao, Y., C. Gao, X. Pan y K. Lei. 2023. *Emerging roles of mitochondria in animal regeneration*. Cell Regeneration 12: 14.

Cita

Gamero.Mora E., y A. Muhlia-Almazán. El asombroso poder de la regeneración en las escifomedusas. Recursos Naturales y Sociedad, 2024. Vol. 10 (1): 103-114. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2024.10.10.01.0009>

Sometido: 8 de abril de 2024

Aceptado: 23 de mayo de 2024

Editor asociado: MC. Trinidad Encinas García

Editor ejecutivo: Dr. Arturo Sánchez Paz

Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández