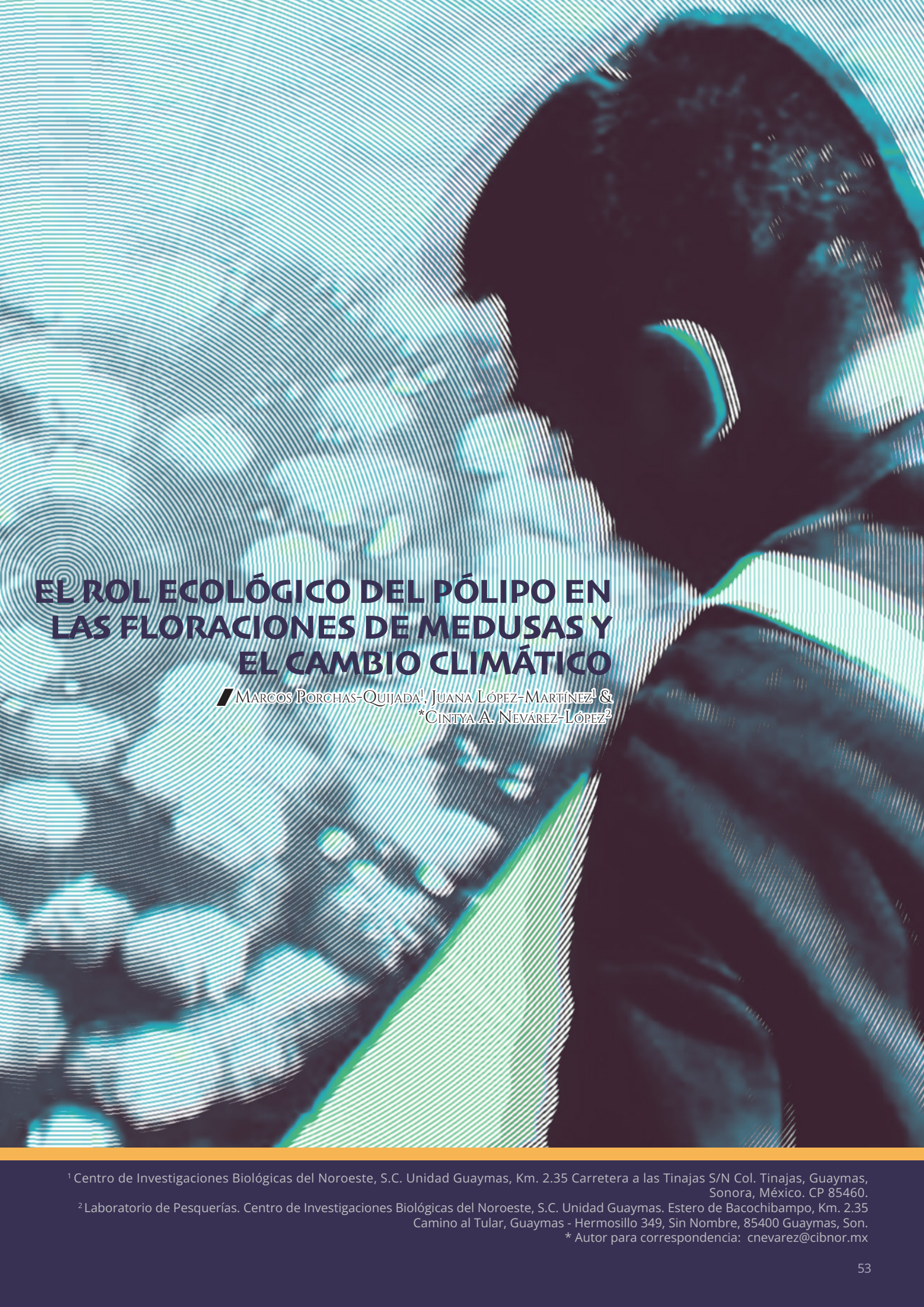




LOS INVISIBLES DEL MAR:



EL ROL ECOLÓGICO DEL PÓLIPO EN LAS FLORACIONES DE MEDUSAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO

/// MARCOS PORCHAS-QUIJADA¹, JUANA LÓPEZ-MARTÍNEZ¹ &
*CINTYA A. NEVÁREZ-LÓPEZ²

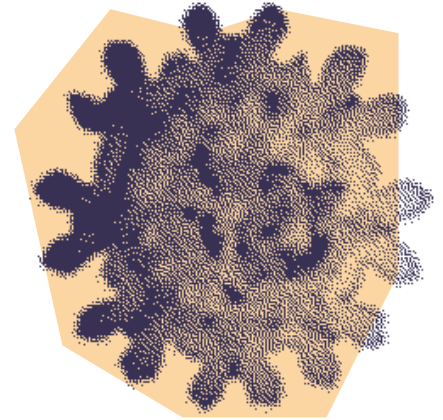
¹ Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas, Km. 2.35 Carretera a las Tinajas S/N Col. Tinajas, Guaymas, Sonora, México. CP 85460.

² Laboratorio de Pesquerías. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Unidad Guaymas. Estero de Bacochibampo, Km. 2.35 Camino al Tular, Guaymas - Hermosillo 349, Sin Nombre, 85400 Guaymas, Son.

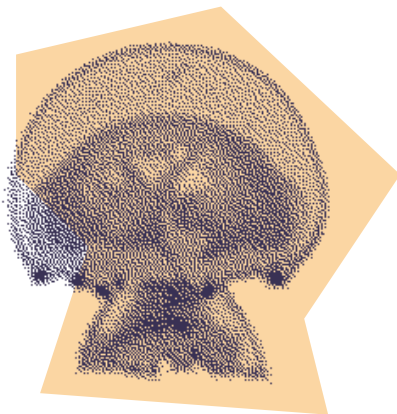
* Autor para correspondencia: cnevarez@cibnor.mx

RESUMEN

Las medusas han aparecido con mayor frecuencia en grandes cantidades desde la década de 1990, con reportes particularmente frecuentes en los años 2000 y 2010, afectando ecosistemas marinos, actividades pesqueras, turismo y hasta plantas de energía. Si bien la atención suele centrarse en la medusa, este artículo destaca el papel poco conocido del pólipo, una fase del ciclo de vida que ocurre en el fondo marino. El pólipo es clave porque, bajo ciertas condiciones ambientales como la temperatura, la luz o la disponibilidad de alimento, puede multiplicarse y dar origen a nuevas medusas. En el contexto del cambio climático, entender cómo funciona esta fase ayuda a predecir futuras floraciones y a diseñar mejores estrategias para monitorear y gestionar los ecosistemas costeros.



ABSTRACT

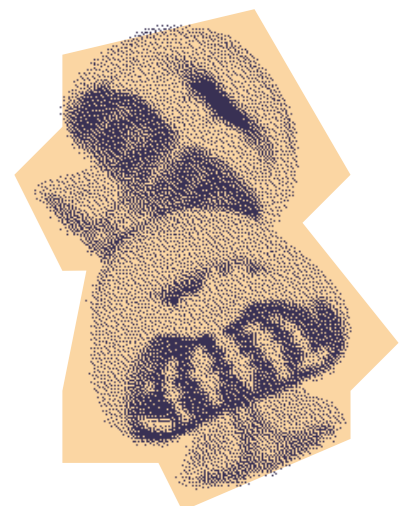


Jellyfish have appeared more frequently in large numbers since the 1990s, with particularly frequent reports during the 2000s and 2010s, affecting marine ecosystems, fisheries, tourism, and even power plants. While most attention is usually given to the medusa stage, this article highlights the lesser-known role of the polyp, a life stage that occurs on the seafloor. The polyp is crucial because, under certain environmental conditions such as temperature, light, or food availability, it can multiply and give rise to new jellyfish. In the context of climate change, understanding how this stage functions helps predict future blooms and supports the design of better strategies to monitor and manage coastal ecosystems.



PALABRAS CLAVE: ciclo de vida, estrobilación, pólipo, proliferación de medusas, temperatura ambiental.

KEY WORDS: environmental temperature, jellyfish blooms, life cycle, polyp, strobilation.



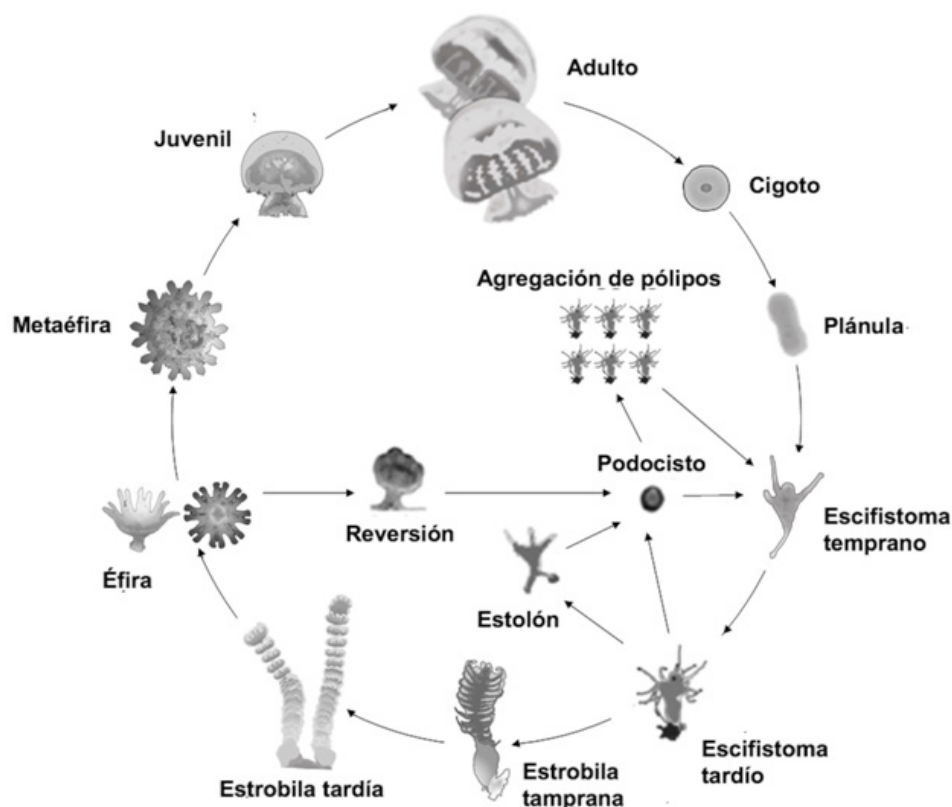


Figura 1.- Ciclo de vida de la medusa bola de cañón *Stomolophus* sp.2. Fuente: Tomado de: (López-Martínez et al. 2023).

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha documentado un incremento en la frecuencia de floraciones de medusas. Entre las causas más relevantes se encuentran el calentamiento del océano, la eutrofización de cuerpos costeros, la sobrepesca y la proliferación de estructuras artificiales sumergidas, que de forma conjunta favorecen la supervivencia y multiplicación de estas especies, incluyendo su fase bentónica o pólipo (Liu *et al.*, 2008).

Estos eventos han dejado de ser fenómenos esporádicos para convertirse en indicadores visibles de alteraciones ecológicas. Su impacto va más allá del ambiente: afectan a la pesca y la acuicultura, inciden en el turismo costero y pueden interferir con la operación de plantas de energía al bloquear tomas de agua de refrigeración (Zang *et al.*, 2022).

Los escifozoos (Clase Scyphozoa) son cnidarios conocidos como medusas verdaderas; poseen células urticantes (cnidocitos) y un ciclo de vida con una fase medusa dominante y una fase pólipo pequeña y sésil. La mayoría de las investigaciones y del interés mediático se centran en la medusa en su fase pelágica (visible, gelatinosa y nadadora, en la columna de agua). Sin embargo, esta es solo una de las fases del complejo ciclo de vida de los escifozoos. La fase bentónica (el pólipo, en el fondo) suele pasar desapercibida tanto en estudios científicos como en programas de monitoreo costero. Esta omisión es significativa, ya que se ha demostrado

que el pólipo juega un papel crucial en la regeneración poblacional a través de procesos de reproducción asexual, como la brotación o la estrobilación (Wang *et al.*, 2023; Loveridge *et al.*, 2024).

El pólipo, anclado al sustrato marino, es una etapa longeva, resistente y altamente plástica, capaz de responder a cambios ambientales con una variedad de estrategias fisiológicas. Factores como la temperatura, la intensidad lumínica, la salinidad y la disponibilidad de alimento modulan su supervivencia y capacidad reproductiva. En contextos de cambio climático, incluso pequeñas variaciones en la temperatura estacional pueden alterar la sincronía y magnitud de las floraciones posteriores (Liu *et al.*, 2008; Loveridge *et al.*, 2024).

Este artículo tiene como objetivo mostrar la importancia del pólipo como regulador oculto de las floraciones de medusas, explorando su biología, su sensibilidad ecofisiológica y las implicaciones que esto tiene para la gestión costera en un escenario de cambio climático.

CICLO DE VIDA DE LAS MEDUSAS: EL PAPEL CENTRAL DEL PÓLIPO

Las medusas escifozoos presentan un ciclo de vida complejo y fascinante, conocido como ciclo metagenético, en el que se alternan fases sexuales y asexuales (Liu *et al.*, 2008). La forma más conocida es la medusa adulta, de vida libre y aspecto gelatinoso, que representa la etapa sexual. Sin embargo, el ciclo

comienza cuando la medusa libera gametos al medio, produciendo una larva nadadora llamada plánula. Esta larva se asienta en un sustrato adecuado del fondo marino y se transforma en un pólipo, marcando el inicio de la fase bentónica del ciclo (López-Martínez *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2023).

El pólipo, a diferencia de la medusa, es sésil, de forma cilíndrica y puede reproducirse de forma asexual mediante brotación o estrobilación. La brotación permite la formación de nuevos pólipos, mientras que la estrobilación da lugar a la producción de pequeñas medusas juveniles llamadas éfiras. Este proceso se da a través de una segmentación transversal del pólipo que origina múltiples éfiras, las cuales crecerán hasta convertirse en medusas adultas (Liu *et al.*, 2008; Treible y Condon, 2019). Un solo pólipo puede producir más de una docena de éfiras en un solo evento reproductivo (Zang *et al.*, 2022), o bien mantener una fase latente hasta que las condiciones ambientales se tornen favorables.

Esta capacidad del pólipo de multiplicarse y dar origen a varias medusas en diferentes momentos le otorga un rol ecológico crucial. A diferencia de las medusas adultas, cuyo ciclo de vida puede durar semanas o meses, los pólipos pueden vivir durante años adheridos a estructuras sumergidas, rocas o sustratos artificiales, como muelles y pilotes (López-Martínez *et al.*, 2023). Esta longevidad representa una memoria ecológica que permite a las poblaciones responder rápidamente ante señales ambientales. En diversos sistemas costeros, se han documentado brotes masivos de medusas vinculados a la supervivencia prolongada de pólipos y su capacidad de estrobar repetidamente bajo condiciones favorables, con consecuencias significativas sobre las redes tróficas (Graham *et al.*, 2003; Pauly *et al.*, 2008).

Además, los pólipos presentan una notable plasticidad fenotípica que les permite sobrevivir a condiciones desfavorables mediante estrategias como la formación de podocistos (estructuras latentes de resistencia; descritos en *Aurelia* spp., ver Liu *et al.*, 2008; Treible y Condon, 2019) o, en algunos casos, la reversión de las éfiras a pólipos (documentada como probable reversión del ciclo en *Stomolophus* sp. 2: López-Martínez *et al.*, 2023). Estas capacidades confieren al pólipo un papel resiliente y estratégico en ambientes costeros variables y bajo presión climática.

La transición del pólipo a la fase medusa no ocurre de manera automática. Está regulada por condiciones ambientales específicas, entre ellas la temperatura del agua, el fotoperiodo, la disponibilidad de alimento y, posiblemente, señales químicas del entorno (Treible y Condon, 2019). Por ejemplo, en regiones templadas, un descenso térmico invernal seguido de un aumento de temperatura en primavera puede activar la estrobilación, desencadenando la liberación de las éfiras (Zang *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023).

EL PÓLIPO COMO SENSOR AMBIENTAL

Los pólipos de medusas escifozoos son fisiológicamente dinámicos, capaces de responder a variaciones ambientales mediante ajustes en su reproducción, desarrollo o supervivencia. Esta sensibilidad ecofisiológica convierte al pólipo en un sensor biológico clave para interpretar los efectos del cambio ambiental en ecosistemas costeros (Liu *et al.*, 2008; Wang *et al.*, 2023). En condiciones óptimas, los pólipos pueden reproducirse asexualmente de forma continua, pero bajo estrés ambiental, su actividad reproductiva puede reducirse o incluso cesar por completo.

Entre los múltiples factores que afectan al pólipo, la temperatura es sin duda el más influyente. Distintos

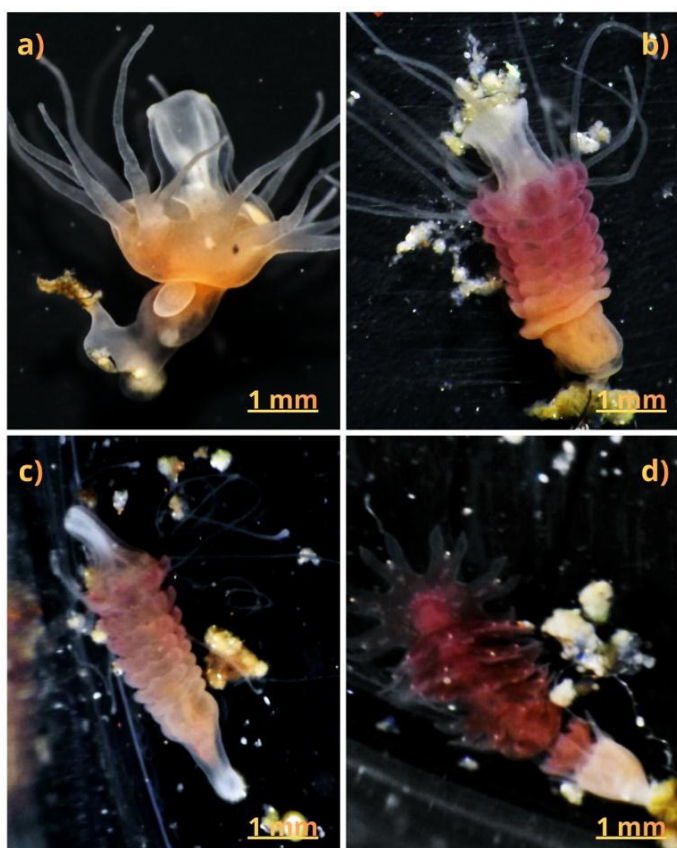


Figura 2. Proceso de estrobilación en pólipos de medusa bola de cañón: (a) pólipo en estado vegetativo, con tentáculos extendidos y disco oral funcional; (b) inicio del proceso de estrobilación, evidenciado por la segmentación del cuerpo oral; (c) estróbila en fase tardía, con formación visible de surcos de segmentación y diferenciación cefálica; (d) estróbila madura, lista para la liberación de éfiras. Las imágenes muestran el desarrollo asexual por estrobilación, un mecanismo clave en la proliferación de medusas.

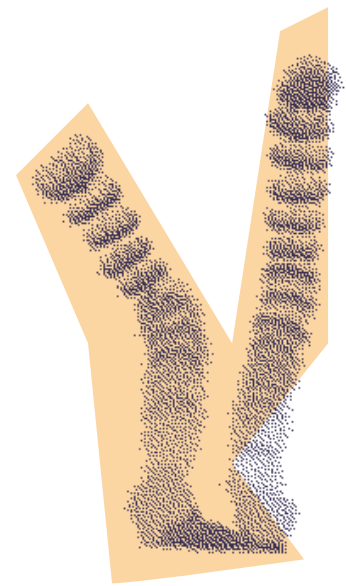
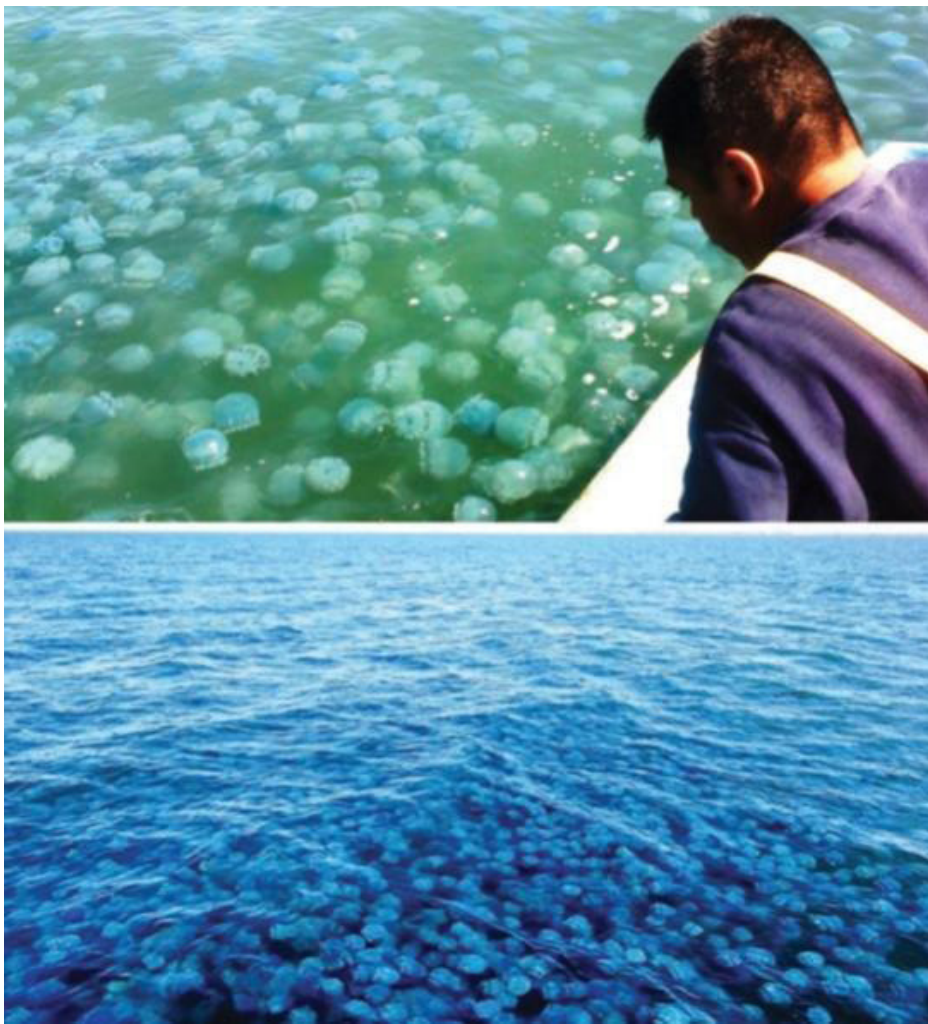


Figura 3. Floración masiva de medusa bola de cañón (*Stomolophus meleagris*) en aguas del Golfo de California. Fuente: Tomado de (López-Martínez *et al.*, 2018).

estudios han mostrado que existen rangos térmicos específicos que favorecen la estrobilación, mientras que temperaturas por encima o por debajo de esos umbrales pueden inhibir la estrobilación o inducir mortalidad (Treible y Condon, 2019; Loveridge *et al.*, 2024). Por ejemplo, en poblaciones de regiones templadas, una secuencia térmica invernal seguida de un aumento gradual en primavera puede activar la liberación de las éfiras. Sin embargo, en ambientes tropicales o subtropicales, como en ciertas costas del Pacífico mexicano, el aumento constante de temperatura puede superar los límites fisiológicos del pólipo, disminuyendo su tasa reproductiva o promoviendo la formación de estructuras de resistencia como podocistos (López-Martínez *et al.*, 2023).

La disponibilidad de alimento también juega un papel determinante. La reproducción asexual requiere reservas energéticas adecuadas, por lo que condiciones de inanición prolongada pueden suprimir por completo la estrobilación (Zang *et al.*, 2022). Este efecto es especialmente importante cuando se considera en conjunto con la temperatura: el estrés combinado por calor y escasez de alimento puede tener efectos sinérgicos negativos sobre la población bentónica.

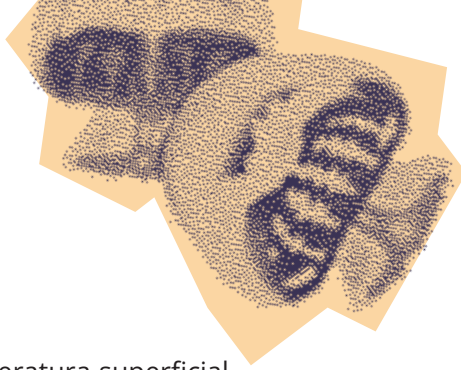
Otros factores relevantes incluyen la salinidad y el fotoperiodo. Cambios abruptos en la salinidad pueden afectar la viabilidad larval y la fijación del

pólipo, mientras que la duración del día puede actuar como señal estacional para iniciar o inhibir procesos reproductivos (Chi *et al.*, 2022). La integración de estos factores modula la dinámica temporal de la fase bentónica, haciendo que su comportamiento varíe según el contexto ecológico.

Frente a condiciones adversas, los pólipos pueden reducir su tamaño, formar estructuras de resistencia (por ejemplo, podocistos) o incluso revertir la diferenciación de las éfiras a pólipos (López-Martínez *et al.*, 2023; Loveridge *et al.*, 2024). Esta flexibilidad funcional favorece la persistencia de las poblaciones en ambientes fluctuantes o degradados y, cuando el entorno mejora, facilita la rápida producción de medusas y la eventual ocurrencia de floraciones.

FLORACIONES DE MEDUSAS EN UN MUNDO MÁS CÁLIDO

En las últimas décadas, numerosos estudios han reportado un aumento en la frecuencia, duración e intensidad de floraciones de medusas a escala global. Si bien estos eventos pueden ser parte de dinámicas naturales interanuales, existe consenso creciente sobre el papel del cambio climático como factor amplificador, especialmente por su influencia sobre las fases tempranas del ciclo de vida, como el pólipo (Wang, 2014; Pitt *et al.*, 2018).



El incremento sostenido de la temperatura superficial del mar modifica los umbrales fisiológicos que regulan la estrobilación. En zonas templadas, esto puede resultar en una prolongación de las ventanas de reproducción asexual y, por tanto, en una producción mayor y más temprana de las éfiras (Treible y Condon, 2019; Zang *et al.*, 2022). Por otro lado, en regiones tropicales y subtropicales, el estrés térmico puede activar mecanismos de resistencia o forzar la sincronización masiva de estrobilación, generando pulsos de medusas que exceden la capacidad del ecosistema para amortiguarlos (López-Martínez *et al.*, 2023).

Además del aumento térmico, el cambio climático intensifica fenómenos de estratificación, hipoxia y acidificación, que favorecen indirectamente a las medusas frente a otros invertebrados y peces pelágicos más sensibles (Wang, 2014; Pitt *et al.*, 2018). Estos efectos se ven potenciados por presiones de actividades humanas, como la sobrepesca, que reducen las poblaciones de depredadores y competidores, desequilibrando las redes tróficas a favor de organismos oportunistas como las medusas (Pauly *et al.*, 2008).

El pólipo, con su capacidad de permanecer en estado latente durante años y responder rápidamente a señales ambientales favorables, actúa como una reserva biológica que permite la explosión de poblaciones en momentos propicios. Este comportamiento confiere a las medusas una ventaja adaptativa en ecosistemas alterados. Estudios documentan floraciones masivas de la medusa morada *Phyllorhiza punctata* en el golfo de México, atribuibles a la combinación de condiciones oceanográficas anómalas y actividades humanas (Graham *et al.*, 2003).

Las consecuencias ecológicas son múltiples, desde la depredación de huevos y larvas de peces, la competencia por zooplancton, hasta el colapso de pesquerías locales (Graham *et al.*, 2003; Pauly *et al.*, 2008). Además, las floraciones pueden causar obstrucciones en plantas de energía, afectaciones al turismo y daños a la acuicultura (Pitt *et al.*, 2018).

Así, el cambio climático no solo altera los parámetros ambientales, sino que reestructura profundamente las condiciones ecológicas que permiten la proliferación de medusas. Comprender el rol del pólipo en este contexto es clave para anticipar los escenarios futuros de dominancia gelatinosa en ecosistemas costeros.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Este manuscrito se centra en los escifozoos (Clase Scyphozoa) y destaca la función ecológica del pólipo como etapa clave en su ciclo de vida. Esta fase bentónica, a menudo invisible para el ojo humano y ausente en el monitoreo marino convencional, actúa como núcleo de las floraciones masivas que, bajo ciertas condiciones ambientales, pueden alterar el equilibrio ecológico de ecosistemas costeros y marinos. Cabe precisar que esta afirmación aplica a Scyphozoa; en otros linajes de Medusozoa (por ejemplo, Hydrozoa, Cubozoa, Staurozoa) el papel del pólipo y/o la presencia de la fase medusa difieren sustancialmente.

Se ha demostrado científicamente que el aumento de la temperatura, la variabilidad estacional, la alteración de hábitats y la presión por actividades humanas sobre las redes tróficas favorecen la reproducción asexual y la supervivencia del pólipo. El pólipo no es una fase pasiva: actúa como una reserva reproductiva capaz de activarse tras largos periodos de latencia, en respuesta a cambios del entorno. Esta capacidad de persistencia y activación diferida transforma al pólipo en un actor central en la expansión poblacional de medusas ante el cambio climático.

Estos hallazgos tienen implicaciones directas para la gestión costera. Aunque el monitoreo de pólipos en ambientes naturales sigue siendo un desafío debido a su tamaño diminuto, su inclusión en estrategias de investigación puede ofrecer pistas valiosas sobre la dinámica futura de las medusas. En particular, estudios de pólipos adheridos a estructuras artificiales como muelles, boyas o pilotes podrían facilitar su detección y evaluación.

Finalmente, se plantea una línea clara para futuras investigaciones, aumentando la necesidad de estudios en campo sobre la distribución, densidad y fisiología de los pólipos. Particularmente en regiones tropicales y subtropicales donde la evidencia aún es limitada. Estudiar el pólipo permite entender los mecanismos que controlan la proliferación de medusas en los océanos actuales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradecen a dos árbitros anónimos los comentarios y correcciones realizadas, que mejoraron la versión final de este artículo.



- Chi, X., D.C. Müller-Navarra, S. Hylander, U. Sommer, J. Javidpour. 2022. Transgenerational effects and temperature variation alter life history traits of the moon jellyfish. *Frontiers in Marine Science*. 9: 913654. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.913654>
- Graham, W.M., D.L. Martin, D.L. Felder, V.L. Asper, H.M. Perry. 2003. Ecological and economic implications of a tropical jellyfish invader in the Gulf of Mexico. *Biological Invasions*. 5(1-2): 53-69. <https://doi.org/10.1023/A:1024046707234>
- Liu, W., W. Lo, J.E. Purcell. 2008. Sensitivity of polyps of *Aurelia* sp. (Cnidaria, Scyphozoa) to environmental conditions. *Hydrobiologia*. 616: 279-289. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9597-4>
- Loveridge, A.J., L.E. Holman, K.A. Pitt. 2024. Transgenerational effects and temperature variation alter life-history traits of the moon jellyfish. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*. 104(e26): 1-10. <https://doi.org/10.1017/S0025315424000468>
- López-Martínez, J., M.A. Porchas-Cornejo, C.A. Nevárez-López, A. Muhlia-Almazán, K.V. Urías-Padilla. 2023. Multiple reproduction forms in the polyps of the cannonball jellyfish *Stomolophus* sp. 2: Probable life-cycle reversal. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*. 339(3): 239-252. <https://doi.org/10.1002/jez.2673>
- Pauly, D., W. Graham, S. Libralato, L. Morissette, M.L.D. Palomares. 2008. Jellyfish in ecosystems, online databases, and ecosystem models. *Hydrobiologia*. 616: 67-85. <https://doi.org/10.1007/s10750-008-9583-x>
- Pitt, K.A., D.T. Welsh, R.H. Condon, C.H. Lucas, B. Stewart-Koster. 2018. Climate change and jellyfish: Insights from physiological and ecological studies. *Biological Reviews*. 93(1): 74-96. <https://doi.org/10.1111/brv.12352>
- Treible, L.M., R.H. Condon. 2019. Effects of temperature and prey concentration on asexual reproduction and strobilation in *Aurelia aurita*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 518: 151204. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2019.151204>
- Wang, N., Y. Lin, Y. Zang, C. Li. 2023. Environmental regulation of strobilation and asexual reproduction in *Aurelia coerulea*. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 10: 1071518. <https://doi.org/10.3389/fevo.2022.1071518>
- Wang, Y.J. 2014. The future of marine invertebrates in face of global climate change. *Journal of Marine Science: Research & Development*. 5(2): e105. <https://doi.org/10.4172/1410-5217.1000e105>
- Zang, Y., Y. Lin, Y. Du, C. Li. 2022. Relationship between asexual reproduction of *Aurelia coerulea* polyps and jellyfish blooms under the influence of temperature dynamics in winter and spring. *Frontiers in Marine Science*. 9: 882387. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.882387>

