

Artículo de divulgación

¡Cefalópodos bebés en peligro! Cómo afecta la contaminación a los más pequeños del océano

Baby cephalopods in danger! How pollution affects the Ocean's youngest

Maritza García-Flores ^{1*} & Marcial Arellano-Martínez ¹

Resumen

Los cefalópodos atraviesan fases tempranas de vida particularmente sensibles que incluyen el desarrollo embrionario dentro del huevo, la fase planctónica de paralarva y la fase juvenil. Durante este periodo, sus estructuras corporales (manto, cabeza y brazos o tentáculos) se desarrollan de manera progresiva mientras el embrión permanece protegido por una cápsula cuya complejidad varía entre grupos. Aunque esta cápsula cumple una función protectora, su permeabilidad puede incrementarse a lo largo del desarrollo embrionario, permitiendo la entrada de contaminantes al interior del huevo. Como consecuencia, tanto el fluido perivitelino como el vitelo pueden actuar como reservorios de sustancias tóxicas, lo que puede comprometer procesos fisiológicos, morfológicos y conductuales, y reducir la probabilidad de supervivencia durante estas fases tempranas de vida.

Palabras clave: desarrollo embrionario, cefalópodos, contaminación marina, paralarvas, cápsula del huevo.

Resumen

Cephalopods undergo particularly sensitive early life stages that include embryonic development within the egg, the planktonic paralarval stage, and the juvenile stage. During this period, their body structures (mantle, head, and arms or tentacles) develop progressively while the embryo remains protected by a capsule whose complexity varies among groups. Although this capsule serves a protective function, its permeability may increase throughout embryonic development, allowing contaminants to enter the egg. Consequently, both the perivitelline fluid and the yolk may act as reservoirs of toxic substances, potentially compromising physiological, morphological, and behavioral processes, and reducing the likelihood of survival during these early life stages.

Key words: embryonic development, cephalopods, marine pollution, paralarvae, egg capsule.

Recibido: 18 de febrero de 2026.

Corregido: 04 de junio de 2026.

Aceptado: 26 de junio de 2026.

De diminutos huevos a exploradores del océano

En el mundo submarino habitan los cefalópodos: pulpos, sepias y calamares, criaturas fascinantes conocidas por su capacidad de cambiar de color y escapar como verdaderos ninjas del océano (Fig. 1). Pero antes de desarrollar estas habilidades sorprendentes, ¿sabías que comienzan su vida como diminutos exploradores, más pequeños que una moneda?

Por su tamaño, estos pequeños cefalópodos en desarrollo son especialmente vulnerables a los cambios en su entorno. Cuando el agua en la que habitan está limpia, tienen la oportunidad de crecer sanos y fuertes; pero si el mar se contamina, su desarrollo puede verse comprometido, poniendo en riesgo su futuro. Así que ¿qué efectos puede tener la contaminación de nuestros océanos en estos pequeños cefalópodos?

¹ Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas, Instituto Politécnico Nacional, Av. Instituto Politécnico Nacional s/n, Playa Palo de Santa Rita, La Paz, Baja California Sur, C.P. 23096, México.

* **Correspondencia:** mary.gafm@gmail.com

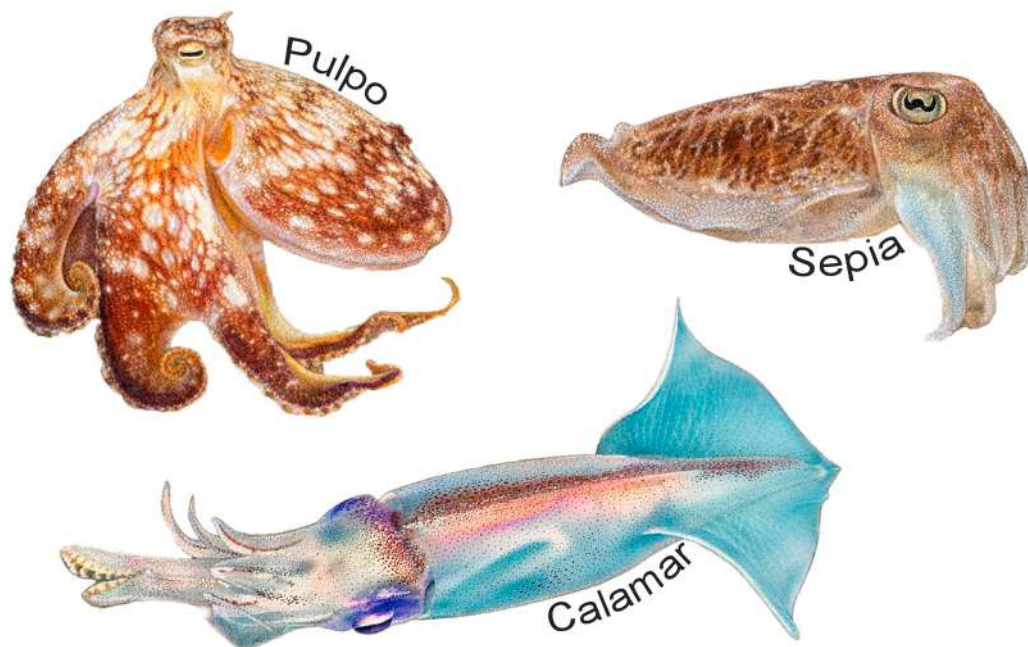


Figura 1. Principales grupos de Cefalópodos.

¿Cómo se desarrollan y nacen los cefalópodos?

El desarrollo embrionario de los cefalópodos ocurre dentro de un huevo, donde el embrión forma de manera progresiva sus estructuras corporales y órganos (Fig. 2a). Durante este proceso, la diferenciación del manto, la cabeza y los brazos ocurre de manera sincrónica, desarrollándose de forma coordinada. El manto constituye la región posterior del cuerpo que funciona como una bolsa que aloja la masa visceral, la cual incluye órganos como el estómago, el intestino, las branquias, los corazones y la glándula digestiva. En la región media se diferencia la cabeza, donde se localizan los ojos, el cerebro y la boca. Finalmente, en la parte inferior se forman los brazos y tentáculos, equipados con ventosas que más adelante les servirán para atrapar a sus presas. Una vez completado el desarrollo embrionario, el embrión rompe la cápsula del huevo y emerge, iniciando su fase de vida libre (Fig. 2b).

Al eclosionar, especies como pulpos y calamares atraviesan una fase temprana

denominada paralarva (Fig. 3). En esta fase, los individuos miden entre 1 y 4 mm de longitud total y presentan un cuerpo casi transparente, con pequeños puntos pigmentados llamados cromatóforos, de tonalidades café, rojo y amarillo. Estos se distribuyen en todo su cuerpo formando patrones característicos que varían entre especies. Durante esta fase, forman parte del plancton y permanecen en la columna de agua, donde desarrollan habilidades esenciales para su supervivencia, como la natación activa, la evasión de depredadores y la captura de presas, mientras exploran el ambiente pelágico.

Aunque durante las primeras etapas las paralarvas pueden parecer frágiles, su morfología y fisiología experimentan cambios progresivos a lo largo del desarrollo. Con el tiempo, adquieren las características únicas de su especie, incluyendo su forma de cazar y su capacidad para cambiar de color y camuflarse. Así, comienzan a transformarse en juveniles, versiones en miniatura de los adultos que conocemos.



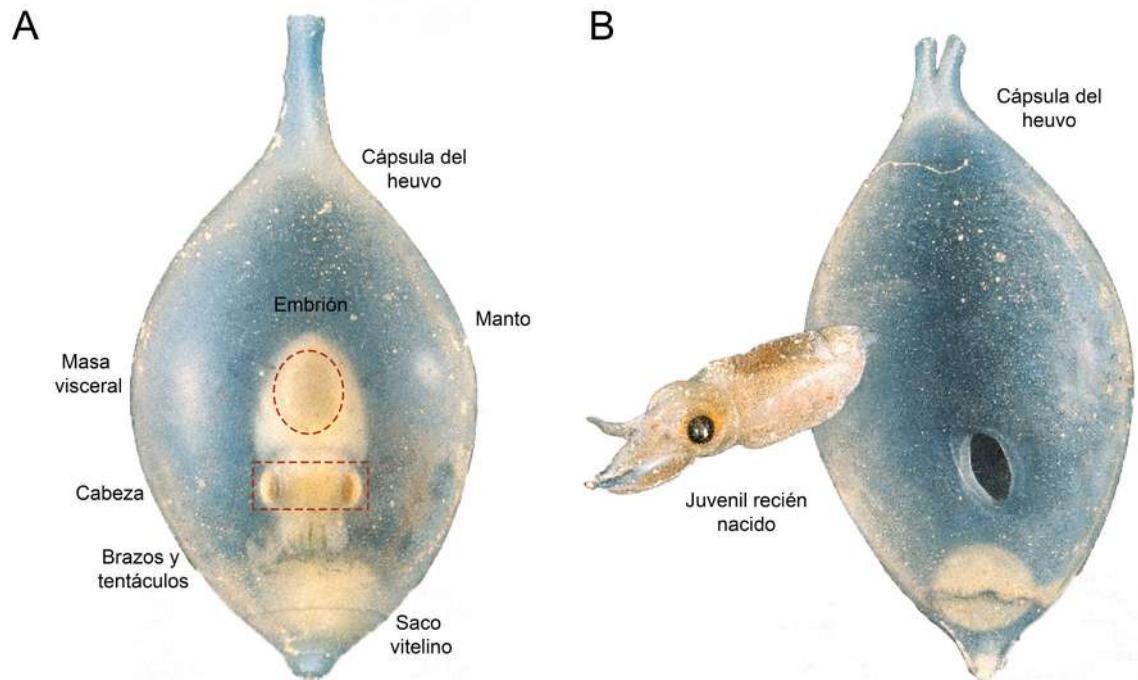


Figura 2. Representación del nacimiento de la sepia. A) Embrión en desarrollo dentro de la cápsula del huevo, donde se forman progresivamente sus principales estructuras corporales. B) Nacimiento del juvenil de sepia, momento en el que el organismo emerge de la cápsula completamente formado.

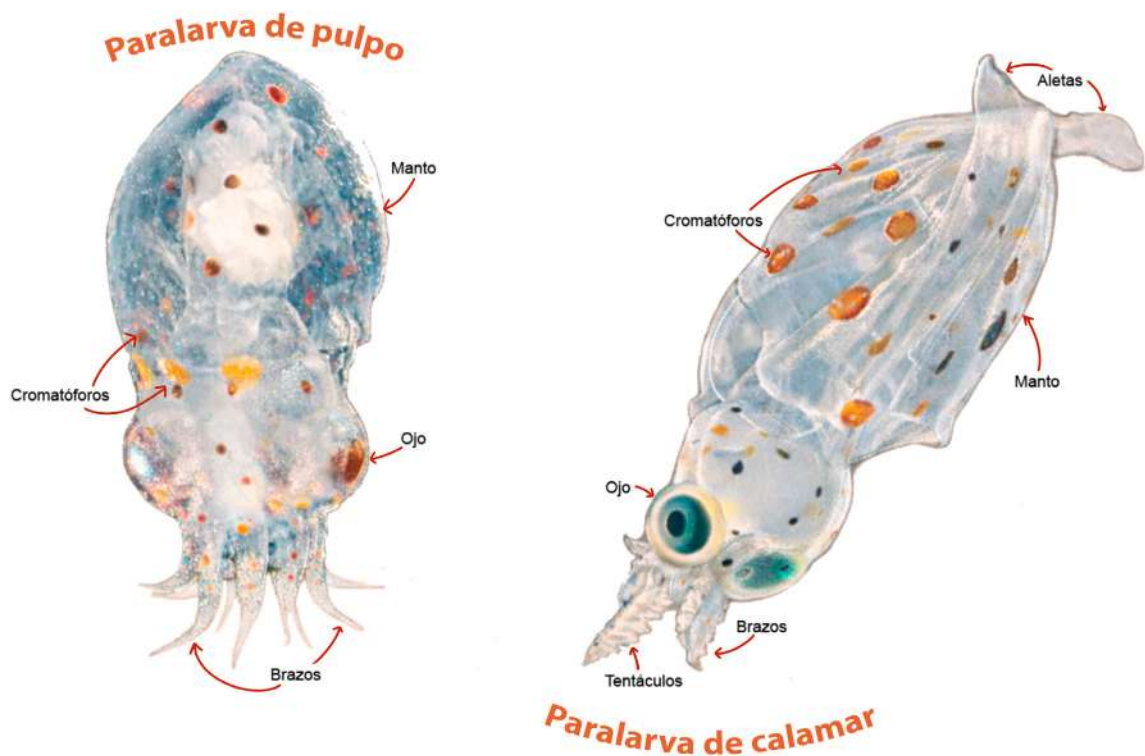


Figura 3. Paralarvas de cefalópodos recién nacidas en vista dorsal (pulpo) y lateral (calamar).

No obstante, estas fases tempranas de desarrollo no siempre ocurren en condiciones ambientales favorables. A pesar de la notable capacidad de adaptación de los cefalópodos, sus etapas iniciales son particularmente sensibles a cambios en el entorno. La presencia de sustancias potencialmente tóxicas en el agua puede afectar estos procesos, convirtiendo el ambiente en un factor limitante para su desarrollo y supervivencia.

¿Cómo llegan a contaminarse nuestros mares?

La salud de nuestros mares está cada vez más comprometida por los aportes de contaminantes producidos por las actividades humanas. A medida que la contaminación aumenta, la calidad del ecosistema empieza a deteriorarse. Este efecto se manifiesta como alteraciones sutiles, por ejemplo, dificultades en el crecimiento, desarrollo o supervivencia de algunos organismos. Con el tiempo, tales impactos pueden intensificarse y modificar la estructura y el funcionamiento de las comunidades marinas. Entre los contaminantes más comunes se encuentran los plásticos, que alcanzan el océano a través de ríos y desagües; las aguas residuales y agrícolas, que aportan nutrientes y compuestos químicos en exceso; los vertidos industriales, que pueden contener metales pesados e hidrocarburos; y otros contaminantes de origen terrestre, como pesticidas y desechos sólidos (Fig. 4). En conjunto, estos factores degradan la calidad del agua y ponen en riesgo la vida marina, desde los organismos más pequeños hasta las especies más grandes.

¿Cómo pone en riesgo la contaminación de nuestros mares a los cefalópodos bebés?

Durante sus primeras fases de

vida, es decir, cuando se desarrollan los embriones, crecen las paralarvas (organismos planctónicos) y se vuelven juveniles (adultos en miniatura). Algunos cefalópodos habitan zonas costeras poco profundas, ambientes que suelen estar expuestos de manera constante a distintos tipos de contaminantes. Como resultado, desde fases tempranas estos organismos enfrentan una amenaza silenciosa, la contaminación del mar. Su pequeño tamaño, su metabolismo acelerado y su dependencia total del agua que los rodea los hacen especialmente vulnerables.

Los embriones de los cefalópodos se desarrollan dentro de una cápsula que actúa como barrera protectora frente al entorno. La estructura de esta cápsula varía entre grupos (Fig. 5). En los calamares y sepias, la cápsula se conforma por tres capas; un corion y dos capas adicionales de secreciones glandulares (Fig. 5a). En cambio, los pulpos tienen una cápsula más sencilla, compuesta únicamente por el corion, cumpliendo la función de proteger al embrión mientras crece (Fig. 5b). Sin embargo, dicha protección parece ser limitada según la especificidad de los contaminantes, la concentración y el período de exposición. A medida que avanza el desarrollo embrionario, la cápsula experimenta un adelgazamiento progresivo que facilita el intercambio de oxígeno con el medio. Este proceso promueve un aumento de la permeabilidad de la cápsula, reduciendo la eficacia contra la incorporación de sustancias externas.

Diversos estudios han documentado que ciertos contaminantes pueden atravesar estas estructuras protectoras y alcanzar el interior del huevo. En consecuencia, tanto el fluido perivitelino como el vitelo (principal fuente de nutrientes del embrión) pueden actuar como reservorios de sustancias potencialmente dañinas,



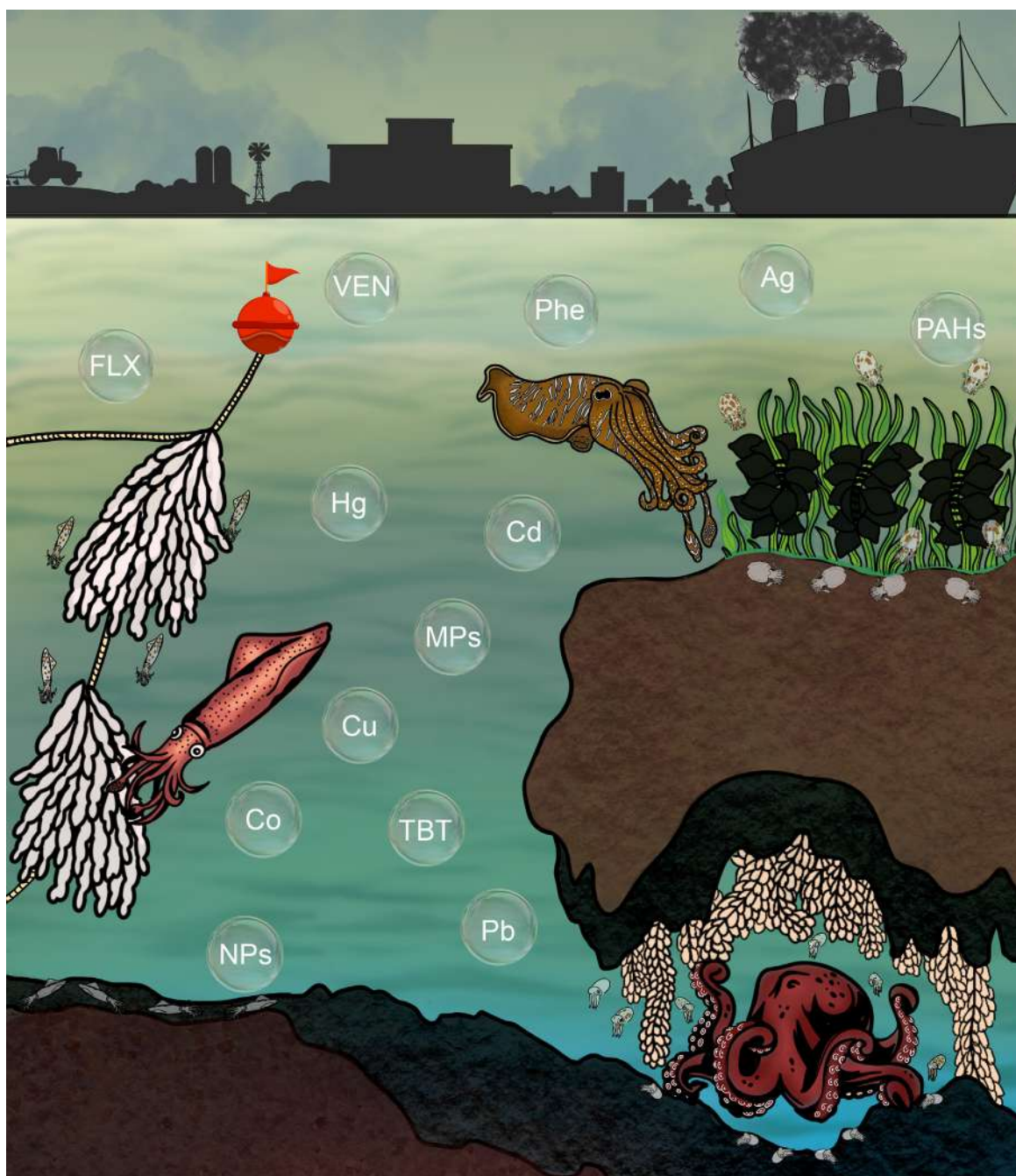


Figura 4. Esquema general de exposición de contaminantes por actividades antropogénicas durante las fases tempranas de vida de los cefalópodos. (Ilustración: Maritza García-Flores). Abreviaturas: Ag, plata; Cd, cadmio; Co, cobalto; Cu, cobre; FLX, fluoxetina; Hg, mercurio; MPs, microplásticos; NPs, nanoplasticos; Pb, plomo; PHAs, hidrocarburos aromáticos policíclicos; Phe, fenantreno; TBT, tributilestaño; VEN, venlafaxina.

lo que incrementa el riesgo de efectos adversos durante el desarrollo.

En los cefalópodos recién nacidos (paralarvas) y en los juveniles, la incorporación de contaminantes ocurre principalmente a través de la alimentación

(Fig. 6). Durante estas etapas, la ingesta de presas contaminadas constituye una de las principales vías de exposición. Asimismo, cambios ambientales asociados al calentamiento global y a la acidificación del océano pueden

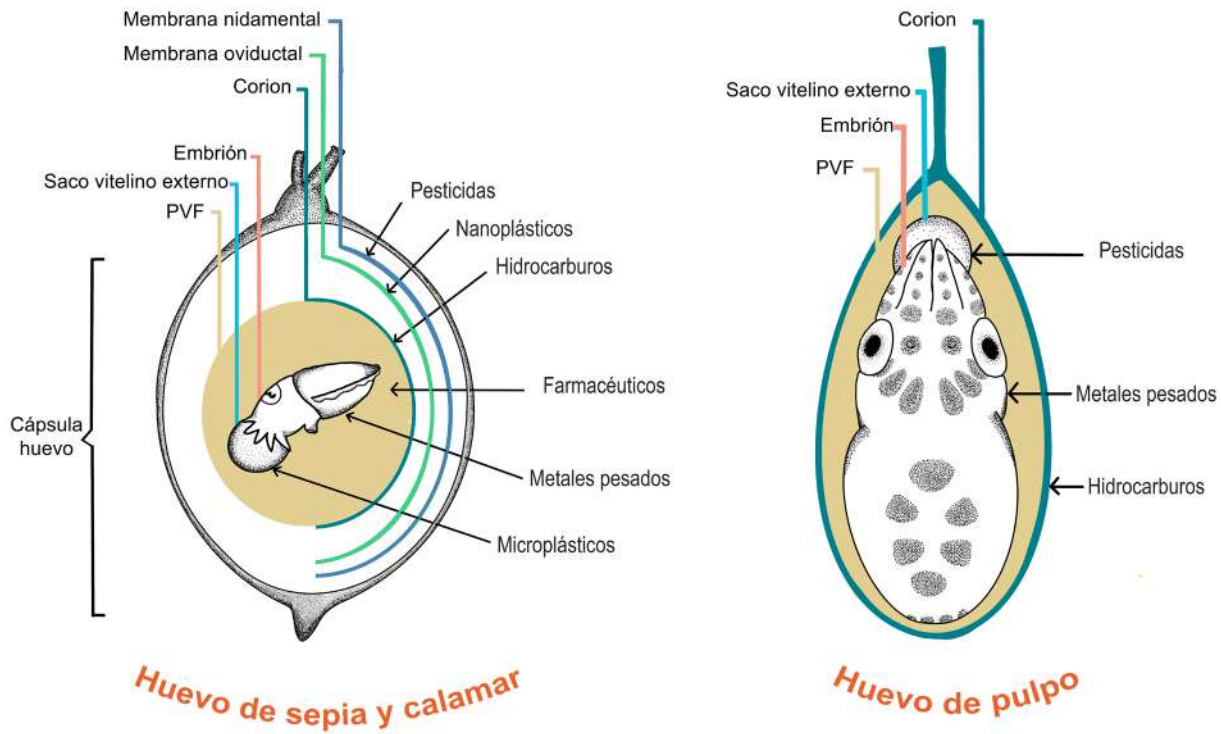


Figura 5. Diagrama de la estructura y patrones de bioacumulación de contaminantes en huevos de cefalópodos (Tomado y modificado de García-Flores *et al.* 2025).

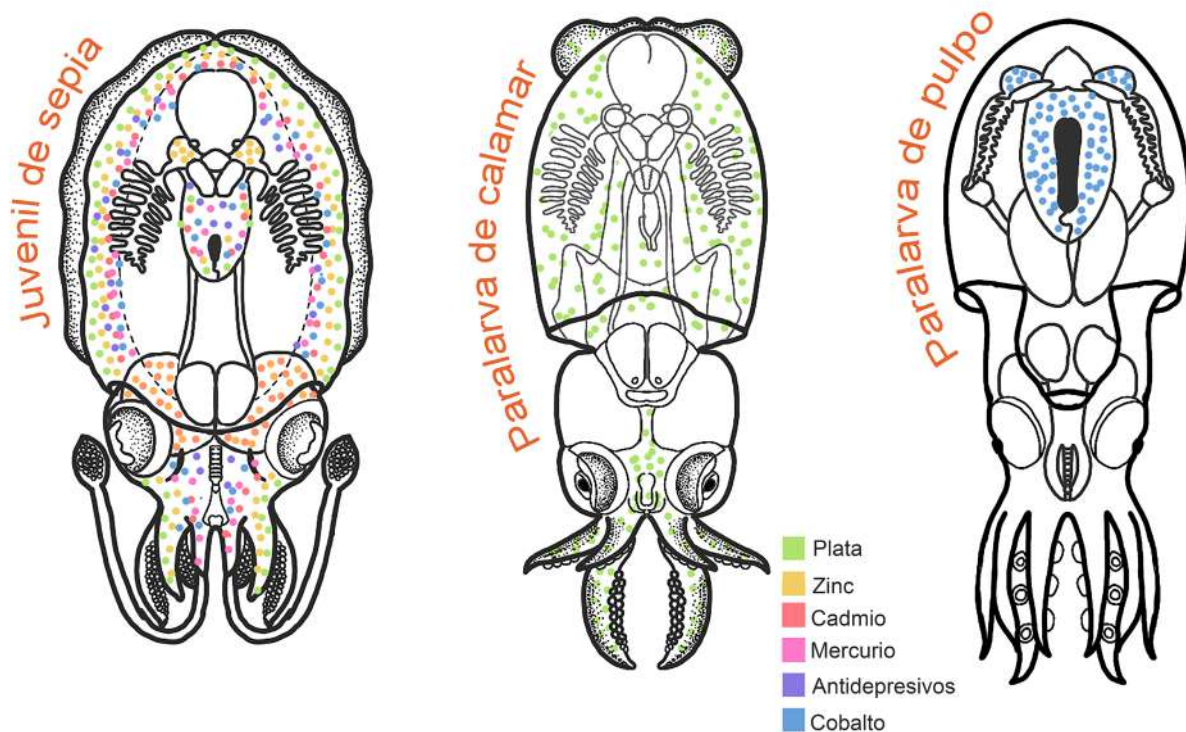


Figura 6. Órganos con bioacumulación registrada de contaminantes en cefalópodos durante sus fases tempranas (Ilustración: Maritza García-Flores).



modificar la disponibilidad de ciertos contaminantes, favoreciendo su absorción y potencialmente incrementando sus efectos.

¿Cómo ha sido el esfuerzo en la investigación del efecto de contaminantes en los cefalópodos bebés?

Hasta la fecha, se han publicado 46 estudios (1970-2023) que evalúan los efectos de los contaminantes sobre las primeras fases de vida de los cefalópodos. La mayoría de estas investigaciones se han realizado en Europa y Asia, particularmente en Francia, China, Italia y España, mientras que en otras partes del mundo la información disponible continúa siendo limitada. Los estudios se han concentrado principalmente en especies ampliamente conocidas y de importancia comercial, como la sepia común *Sepia officinalis*, el pulpo común *Octopus vulgaris* y el calamar europeo *Loligo vulgaris*. Sin embargo, todavía se sabe poco sobre especies que viven en zonas lejanas o tienen poco valor económico. En conjunto, se han evaluado al menos 28 tipos de contaminantes, y algunos demostraron tener efectos negativos en el crecimiento, la fisiología y el comportamiento durante el desarrollo temprano. Entre los contaminantes más dañinos se encuentran el cadmio, cobre, zinc, el medicamento fluoxetina (FLX), los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), los compuestos organofosforados y el tributilestano (TBT). La exposición a estas sustancias se ha asociado con malformaciones y alteraciones del desarrollo, incluyendo menor consumo de vitelo, crecimiento reducido, eclosión prematura y disminución en las tasas de supervivencia. En paralarvas y juveniles, también se han documentado anomalías morfológicas y alteraciones en la pigmentación, como la ausencia o reducción de cromatóforos. Esto no solo

compromete el desarrollo físico, sino que puede afectar procesos fisiológicos y conductuales, reducir la capacidad de camuflaje, alterar el sistema nervioso y disminuir las probabilidades de supervivencia en el ambiente natural.

Estos estudios no solo revelan los riesgos que enfrentan los cefalópodos durante sus primeras fases de vida, sino que también subrayan la necesidad de fortalecer las estrategias de conservación y manejo ambiental.

En conclusión, proteger las fases tempranas de vida de los cefalópodos es fundamental. Al asegurar un océano limpio para estos pequeños, no solo salvamos a estas fascinantes criaturas, sino que también garantizamos el equilibrio de todo el ecosistema marino, donde juegan un papel vital como depredadores y presas.

Agradecimientos

Agradecemos al Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas del Instituto Politécnico Nacional (CICIMAR-IPN) y a la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por el apoyo brindado, el cual contribuyó a la formación académica y al desarrollo de la línea de investigación que inspira este

Referencias

- Chabenat, A., F. Bidet, T. Knigge & C. Bellanger. 2021. Alteration of predatory behavior and growth in juvenile cuttlefish by fluoxetine and venlafaxine. *Chemosphere* 277: 130169. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130169>
- Chemello, G., V. Faraoni, V. Notarstefano, F. Maradonna, O. Carnevali & G. Gioacchini. 2022. First evidence of microplastics in the yolk and embryos of common cuttlefish (*Sepia officinalis*) from the central Adriatic Sea: Evaluation of embryo and hatchling structural integrity and development. *Animals* 13(1): 95. <https://doi.org/10.3390/ani13010095>

- Cocci, P., G. Mosconi & F. A. Palermo. 2023.** Effect of polycyclic aromatic hydrocarbons on homeobox gene expression during embryonic development of cuttlefish, *Sepia officinalis*. *Chemosphere* 325: 138315. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138315>
- García-Flores, M., R. De Silva-Dávila, G. M. Rodríguez-Figueroa, R. Moncayo-Estrada, C. J. Hernández-Guerrero & M. Arellano-Martínez. 2025.** Ecotoxicology of cephalopod early life phases: review and perspectives. *Environmental Science and Pollution Research* 32(4): 1693-1709. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35829-8>
- Giroux, M.S., S. Siddiqui & S.M. Brander. 2024.** Classic contaminants in aquatic ecosystems: POPs, PFAS, heavy metals, and microplastics. Pp: 43–58 In: Siddiqui, S. & S.M. Brander (eds.), *Aquatic ecotoxicology: Understanding pollutants, aquatic organisms, and their environments*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-53130-9_4
- Jiang, M., Z. Zhang, Q. Han, R. Peng, H. Shi & X. Jiang. 2023.** Embryonic exposure to environmentally relevant levels of tributyltin affects embryonic tributyltin bioaccumulation and the physiological responses of juveniles in cuttlefish. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 256: 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.114894>
- Lacoue-Labarthe, T., C. Le Pabic & P. Bustamante. 2016.** Ecotoxicology of early-life stages in the common cuttlefish *Sepia officinalis*: review and perspectives. *Vie et Milieu/Life & Environment* 66(1): 65–79.
- Lacoue-Labarthe, T., E. Réveillac, F. Oberhänsli, J.-L. Teyssié, R. Jeffree & J. P. Gattuso. 2011a.** Effects of ocean acidification on trace element accumulation in the early-life stages of squid *Loligo vulgaris*. *Aquatic Toxicology* 105: 166-176. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2011.05.021>
- Mearns, A.J., M. Bissell, A.M. Morrison, M.A. Rempel-Hester, C. Arthur & N. Rutherford. 2019.** Effects of pollution on marine organisms. *Water Environment Research* 91(10). <https://doi.org/10.1002/wer.1218>
- Thushari, G.G.N. & J.D.M. Senevirathna. 2020.** Plastic pollution in the marine environment. *Heliyon* 6(8): e04709. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04709>

