

### *Chrysomallon squamiferum*: un titán desconocido

Alonso Carballo, D.; Fernández Troncoso, E.; González Campos, C. y Pérez Lago, J. M.

Materia:

Zoología I: invertebrados no

artropodos

2º curso del Grado en Biología

Tutora:

María Fuencisla Mariño Callejo

Departamento de Ecología y

Biología Animal

#### Resumen

En este artículo hemos hecho una revisión bibliográfica acerca de *Chrysomallon squamiferum*. Hablaremos de su hábitat, de su morfología externa (destacando algunas estructuras de especial interés como su concha o sus escleritas), de sus depredadores y simbiosis, y, sobre todo, de las interesantísimas adaptaciones que ha desarrollado para poder vivir en el medio que habita.

#### Introducción

Si tenemos que pensar en un animal que haya sufrido un proceso de adaptación extrema, ese es *Chrysomallon squamiferum*, un molusco gasterópodo marino que vive en las profundas fumarolas del océano, donde las condiciones de vida son inviables para la mayor parte de animales. Como adaptación a este medio ha desarrollado una concha increíblemente resistente de tres capas, la cual le permite resistir las condiciones ambientales complicadas en las que debe desenvolverse.

#### Hábitat y distribución

Esta especie se encuentra en las fumarolas volcánicas de Long, Kairei o Solitaire, hacia el sureste del Océano Índico, a unos 2500 metros de profundidad (Chen *et al.*, 2015a). La columna de agua que soporta el animal sobre sí mismo provoca valores de presión de 250 atm. Además, la temperatura allí abajo ronda los 370 °C, y el pH fluctúa alrededor de 3.5 (Nakamura & Takai, 2015). ¡Esto último podría equipararse a vivir rodeado de vinagre! Por otra parte, en estas zonas, *Chrysomallon squamiferum* tiene a su disposición diversas sustancias inorgánicas, tanto formando parte del sustrato como en disolución, las cuales es capaz de aprovechar (Gallant & Von Damm, 2006).

#### Descripción general

*Chrysomallon squamiferum* es un gasterópodo con concha en forma de espiral (Fig. 1). Es la especie tipo y la única especie dentro del género *Chrysomallon*. Su nombre proviene del griego clásico y significa “de pelo dorado”, porque en su concha posee destellos dorados debido a la pirita que contiene. El epíteto específico *squamiferum* viene del latín y hace referencia a sus escleritas.



Figura 1. *Chrysomallon squamiferum* (tomado de Warén *et al.* 2003).

Existen tres variedades dentro de esta especie: dos morfotipos de colores oscuros y un tercero de un color blanquecino.

#### Morfología de la concha

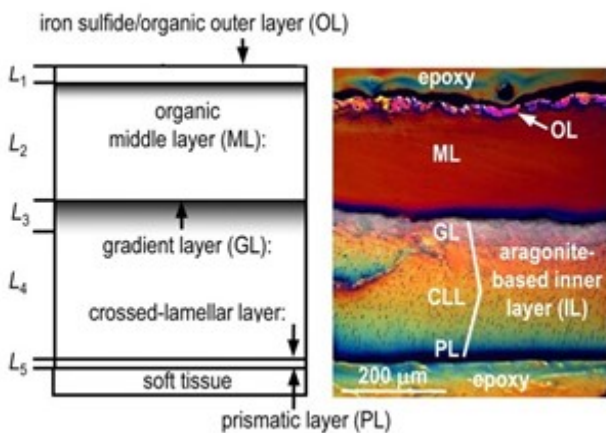
Muchos moluscos se protegen de sus depredadores con conchas duras, compuestas por una frágil capa exterior de calcita y una dura capa interna compuesta de aragonito, quitina y proteínas, también conocida como nácar o madreperla. *Chrysomallon squamiferum* no tiene nada que envidiarles, ya que su concha es mucho más dura y resistente (Uruchurtu, 2010).

Una concha debe asegurar la protección del animal que la porta. Por lo tanto, no es de extrañar que algunas de sus propiedades (dureza, resistencia a penetración o deformación elástica) vengan determinadas por el hábitat del animal en cuestión. *Chrysomallon squamiferum* ha desarrollado un increíble exoesqueleto dividido en tres capas.

La capa externa de sulfuro de hierro contiene greigita ( $Fe_3S_4$ ) y pirita ( $FeS_2$ ) (Suzuki *et al.*, 2006). *Chrysomallon squamiferum* es el único metazoo conocido capaz de emplear este material en la formación de su esqueleto. La morfología del caracol se caracteriza porque presenta escleritas de este material, las

cuales recuerdan a tejas de un tejado, y pueden medir hasta 30  $\mu\text{m}$  de ancho (Yao *et al.*, 2010).

La capa media es orgánica, y se piensa que puede corresponderse con el periostraco, una capa orgánica que se encuentra encima de la capa calcificada en las conchas de los gasterópodos (Malacologia.ES, en línea). Tiene aproximadamente 150  $\mu\text{m}$  de ancho; un valor que, en comparación con los moluscos habituales, es muy grande. Se han encontrado similitudes en este aspecto con otros moluscos de su hábitat (como pueden ser *Alviniconcha*, *Lepetodrilus* o *Bathymodiolus*) (Yao *et al.*, 2010), pero también diferencias con otros que habitan fumarolas de otras partes del mundo, los cuales tienen el periostraco más fino. Aunque se barajan hipótesis de en qué puede resultar beneficiosa esta característica, aún no se sabe a ciencia cierta.



**Figura 2.** Las distintas capas que conforman la estructura de la concha de *Chrysomallon squamiferum* (Tomado de Yao *et al.*, 2010).

La capa interna está muy calcificada, y puede llegar a medir hasta 250  $\mu\text{m}$ . Está formada por aragonito, que se posiciona de forma gradual. Los minerales que forman esta capa adoptan diferentes estructuras (lamelar cruzada o prismática), como se puede observar en la figura 2. La curvatura de la concha permite amortiguar la presión ejercida sobre esta capa, reduciendo las probabilidades de fractura (Uruchurtu, 2010; Yao *et al.*, 2010).

### Escleritas

Las escleritas son unas estructuras repartidas por todo el pie del animal que, al igual que la concha, constan de varias capas. La capa externa está compuesta principalmente por sulfuro de hierro, a esta le sigue una capa orgánica media, que da lugar por último al pie del gasterópodo. En las escleritas, al contrario que en la concha, no aparece la capa interna calcificada (Yao *et al.*, 2010).

### Depredadores y simbiosis

Esta especie convive en el fondo marino con otras especies de animales como moluscos, cnidarios, etc (Warén *et al.*, 2003). La presencia de tantas especies en un mismo biotopo aumenta la posibilidad de ser depredado.

Entre las principales amenazas de depredación de este caracol se encuentra el género de caracoles marinos *Phymorhynchus*. Estos animales poseen veneno en sus dientes, pero su corta longitud no consigue, en la mayoría de los casos, atravesar la capa de escleritas del caracol. De esta manera, se extiende la idea de que la formación de minerales en estas estructuras está mediada por *Chrysomallon squamiferum* y puede modificarla según sus necesidades (Suzuki *et al.*, 2006). Por otro lado, se han observado ataques de ciertos braquiuros (cangrejos de mar) mediante golpes con sus quelípedos sobre las conchas de *Chrysomallon squamiferum* (Yao *et al.*, 2010).

*C. squamiferum* depende, en su vida adulta, de bacterias endosimbiontes para la obtención de alimento. Las bacterias le proporcionarán alimento en forma de carbohidratos, y este, a cambio, les proporciona refugio en la glándula esofágica (Nakamura & Takai, 2015). En este gasterópodo el contraste de tamaño entre la glándula esofágica y el sistema digestivo sugiere que los endosimbiontes son la fuente nutricional clave, aunque actualmente no está claro si esta especie cuenta con otros mecanismos de alimentación (Chen *et al.*, 2015b).

La rádula de *C. squamiferum* es proporcionalmente mucho mayor en juveniles que en adultos. Con estos datos cabría esperar que los individuos juveniles se alimentasen pastando. Sin embargo, el material encontrado en el intestino de un espécimen de *C. squamiferum* juvenil seccionado en serie contenía material similar al de los intestinos de individuos adultos. Asimismo, el intestino anterior del juvenil también estaba vacío y su glándula esofágica era proporcionalmente tan grande como en los adultos. Esto sugiere que *C. squamiferum* probablemente confía en sus endosimbiontes para la nutrición a lo largo de toda su vida post-larvaria (Chen *et al.*, 2015b).

### Adaptaciones biológicas

Los metazoos en entornos de ventilación hidrotérmica dependen de adaptaciones morfológicas y fisiológicas para resolver sus necesidades energéticas en una cadena alimentaria basada en la quimioautotofia (Cavanaugh *et al.*, 1981; Van Dover, 2000; Watsuji *et al.*, 2014). Las principales adaptaciones de *C. squamiferum* son, en este sentido, sus endosimbiontes y su exoesqueleto.

El exoesqueleto proporciona protección ante las numerosas amenazas ambientales. Entre las diversas funciones de defensa destaca la protección mecánica de la concha, que es capaz de resistir los ataques de los depredadores. El mecanismo de defensa es sencillo: al ejercer fuerza sobre la concha en la capa externa de sulfuro de hierro se crean microfisuras que disipan la fuerza que ejerce el depredador. Estas microfisuras hacen que la superficie de la concha deje de ser lisa y se vuelva rugosa, con salientes que desgarran al depredador. Además, la capa media orgánica, que es esponjosa y gruesa, actúa como relleno y hace que se disipe aún más la energía mecánica, protegiendo de esta manera la capa frágil e interna de carbonato cálcico (Yao *et al.*, 2010).

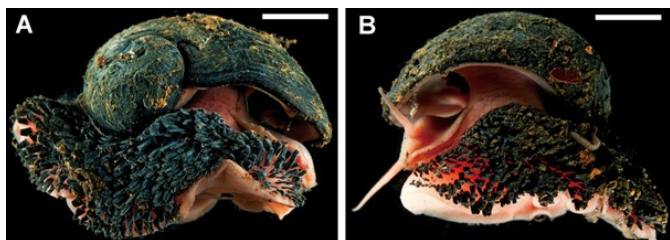
Otra ventaja que supone presentar esta estructura externa en un medio hidrotermal es la capacidad de resistir los cambios bruscos de temperatura. En este medio se pueden alcanzar

temperaturas de hasta 370 °C, valores letales para muchos seres vivos. La capa intermedia orgánica del exoesqueleto, funciona como un aislante térmico, impidiendo que el animal muera (Nakamura & Takai, 2015).

Como ya se ha mencionado una de las adaptaciones más sorprendentes es la presencia de sulfuro de hierro tanto en la concha como en las escleritas. Atendiendo a la pureza y regularidad de los sulfuros de hierro, se sospecha un control biológico directo por este gasterópodo sobre su organización. Se trata, además, del único metazoo conocido por emplear sulfuro de hierro como material esquelético (Warén *et al.* 2003). Se cree que las escleritas podrían facilitar el acercamiento del gasterópodo a la fuente de nutrientes de sus endosimbiontes. Alternativamente, las escleritas pueden resultar de la deposición por parte de los endosimbiontes de residuos de sulfuro tóxicos y, por lo tanto, representarían una nueva solución para la desintoxicación (Chen *et al.*, 2015b).

Teniendo en cuenta el material inusual que conforma las escleritas y la posición filogenética del caracol, Warén *et al.* (2003) sugirieron que este mecanismo de protección evolucionó recientemente. Por lo demás, *C. squamiferum* tiene una branquia relativamente grande que no porta endosimbiontes, por lo que probablemente este tamaño se deba a la necesidad de satisfacer requerimientos respiratorios. Así, es probable que la ampliación de la branquia facilite la extracción de oxígeno de las condiciones hipóxicas características de los ecosistemas de ventilación hidrotermal (Van Dover, 2000; Chen *et al.*, 2015b). El sistema circulatorio, por su parte, contiene un enorme volumen sanguíneo y cuenta con un ventrículo muscular que extrae sangre de la elaborada branquia para abastecer a las bacterias (Chen *et al.*, 2015b).

Como vemos, las ventajas conferidas por la concha de este curioso gasterópodo son numerosas y podemos afirmar, después de todo lo explicado, que dicha estructura es multifuncional, y le posibilita prosperar en las duras condiciones de su ecosistema. Sin embargo, no está clara la función que tiene su exoesqueleto. Las adaptaciones sufridas por *C. squamiferum* según Chen *et al.* (2015b) han sido derivadas de la necesidad de albergar en su glándula esofágica endosimbiontes y, por lo tanto, puede afirmarse que este gasterópodo se ha convertido en un “buque de transporte” para la supervivencia y la propagación de sus bacterias endosimbiontes (Fig. 3).



**Figura 3.** Fotografías de un individuo de *Chrysomallon squamiferum*. Se aprecia como la mayor parte de su cuerpo está recubierto para una mayor protección. Escala de las barras: A, B= 1 cm (Tomado de Chen *et al.*, 2015a).

## Conclusiones

*Chrysomallon squamiferum* constituye uno de los ejemplos más impresionantes en cuanto a adaptaciones a medios extremos se refiere. Además de su interés biológico, dadas sus resistentes características, se ha pensado que esta especie podría servir de bioinspiración para el diseño de materiales con utilidad en ingeniería militar. A pesar de lo atractiva que resulta y de los estudios que se han llevado a cabo sobre ella, quedan aún lagunas en el conocimiento de la biología de esta especie.

## Bibliografía

- Cavanaugh, C.M., Gardiner, S.L., Jones, M.L., Jannasch, H.W., Waterbury, J.B. (1981). Prokaryotic cells in the hydrothermal vent tube worm *Riftia pachyptila* Jones: possible chemoautotrophic symbionts. *Science* 213: 340-342. [DOI](#)
- Chen, C., Linse, K., Copley, J. T., Rogers, A.D. (2015a). The ‘scaly-foot gastropod’: a new genus and species of hydrothermal vent-endemic gastropod (Neomphalina: Peltospiridae) from the Indian Ocean. *J. Mollus. Stud.* 81: 322-334. [DOI](#)
- Chen, C., Copley, J. T., Linse, K., Rogers, A. D., Sigwart, J. D. (2015b). The heart of a dragon: 3D anatomical reconstruction of the ‘scaly-foot gastropod’ (Mollusca: Gastropoda: Neomphalina) reveals its extraordinary circulatory system. *Front. Zool.* 12: 13. [DOI](#)
- Gallant, R.M., Von Damm, K. L. (2006). Geochemical control on hydrothermal fluids from the Kairei and Edmond Vent Fields, 23° - 25°S, Central Indian Ridge. *Geo. Geophys Geosyst.* 7: 1-24. [DOI](#)
- Malacologia.ES (en línea) La concha in <http://www.malacologia.es/index.php/biologia/57-la-concha>
- Nakamura, K., Takai, K. (2015) Indian Ocean Hydrothermal Systems: Seafloor Hydrothermal Activities, Physical and Chemical Characteristics of Hydrothermal Fluids, and Vent-Associated Biological Communities. En: *Subseafloor Biosphere Linked to Hydrothermal Systems*, J. Ishibashi, K. Okino, M. Sunamura, (eds.). Springer, Tokyo: pp 147 - 161. [DOI](#)
- Suzuki, Y., Kopp, R. E., Kogure, T. (2006). Sclerite formation in the hydrothermal-vent “scaly-foot” gastropod-possible control of iron sulfide biomineralization by the animal. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 242: 39-50. [DOI](#)
- Uruchurtu, G. (2010) Estudiar la naturaleza para imitarla. ¿Cómo ves? 139: 10-14
- Van Dover, C. L. (2000). *The Ecology of Deep-Sea Hydrothermal Vents*. Ed. Princeton: Princeton University Press.
- Warén, A., Bengtson, S., Goffredi, S. K., Van Dover, C. L. (2003). A hot-vent gastropod with iron sulfide dermal sclerites. *Science* 302:1007. [DOI](#)
- Watsuji, T-O., Yamamoto, A., Motoki, K., Ueda, K., Hada, E., Takaki, Y., Kawagucci, S., Takai, K. (2014). Molecular evidence of digestion and absorption of epibiotic bacterial community by deep-sea crab *Shinkaia crosnieri*. *ISMEJ* 9: 821-831. [DOI](#)
- Yao, H., Dao, M., Imholt, T., Huang, J., Wheeler, K., Bonilla, A., Suresha, S., Ortiz, C. (2010). Protection mechanisms of the iron-plated armor of a deep-sea hydrothermal vent gastropod. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*. 107: 987-992. [DOI](#)