

# La carrera armamentista en el parasitismo: una historia de pulgas

*The arms race in parasitism: A flea story*

**Abraham Mendoza-Pérez**

zs20000458@estudiantes.uv.mx

<https://orcid.org/0000-0003-0968-575>

**Rodolfo Martínez-Mota**

rododomartinez@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0001-7881-4598>

**Martha L. Baena**

mbaena@uv.mx

<https://orcid.org/0000-0002-5684-2771>

**Universidad Veracruzana**

Recibido: 3 de febrero de 2022

Aceptado: 21 de marzo de 2022

Publicado: 5 de julio de 2022



Pulga del género *Ctenocephalides* perteneciente a la familia Pulicidae, macho. Fotografía: Abraham Mendoza Pérez.

## Resumen

Las pulgas son insectos ectoparásitos hematófagos, es decir, viven externamente y se alimentan de la sangre de animales vertebrados como mamíferos y aves, los cuales fungen como sus hospederos. Han evolucionado con sus hospederos a través de una asociación ecológica llamada parasitismo, en la cual la selección natural ha influido en ambos grupos a través del mecanismo evolutivo conocido como la carrera armamentista, la cual propone que para sobrevivir los individuos de dos especies o más han evolucionado constantemente durante el proceso competitivo de desarrollo de estrategias o características morfológicas, fisiológicas o conductuales, para evitar la extinción. Por lo tanto, la carrera armamentista en el parasitismo ha jugado un papel importante en la diversificación de pulgas y hospederos.

**Palabras clave:** ectoparásitos, selección natural, reina roja, simbiosis, evolución.

## Abstract

Fleas are ectoparasitic hematophagous insects; that is, they live externally and feed on the blood of vertebrates such as mammals and birds, which act as their hosts. They have evolved with their hosts through an ecological association called parasitism, in which natural selection has influenced both groups through the evolutionary mechanism known as the arms race. In order to survive, individuals of two or more species constantly evolve in a competitive process of developing strategies or morphological, physiological or behavioral characteristics to avoid extinction. The arms race in parasitism has played an important role in the diversification of fleas and their hosts.

**Key words:** ectoparasites, natural selection, red queen, symbiosis, evolution.

## Características e historia de las pulgas

Las pulgas son insectos muy pequeños, casi imperceptibles para el ojo humano, y tan antiguos como los dinosaurios. El tamaño corporal que tienen es mil veces menor al de un extinto Tiranosaurio Rex (*Tyrannosaurus rex*) y varía conforme a la especie, en un rango que va desde 1 a 10 mm de largo en etapa adulta. Al igual que los escarabajos, las pulgas también presentan un desarrollo biológico denominado metamorfosis completa u holometábolo, término utilizado para hacer referencia a un proceso de desarrollo desde huevo, larva (típicamente tres fases), pupa y adulto. Una característica típica de las pulgas es la forma

comprimida bilateralmente del cuerpo que está cubierto por cientos de sedas de diferente tamaño y grosor. La variación en su color va desde café marrón a negro. Tienen un par de ojos simples e incluso pueden estar ausentes. El abdomen se comprende de siete segmentos cubiertos en la parte inferior por pequeños conjuntos de sedas. No tienen alas y sus patas traseras están modificadas para realizar “saltos” que les permiten moverse entre hospederos y también tener mayor desplazamiento sobre las regiones corporales del hospedero y evitar así su ataque físico. La forma del cuerpo y los saltos que realizan son características únicas entre los insectos que habitan el planeta.

Debido al descubrimiento de diferentes organismos fosilizados en ámbar basáltico, sabemos que se encuentran en el planeta Tierra desde hace 180 millones de años (Holland, 1964). Los últimos registros fósiles preservados en ámbar basáltico corresponden a las épocas geológicas del Eoceno y Oligoceno, hace aproximadamente 35-40 millones de años. Estas pulgas pertenecen a las especies *Palaeopsylla klebsiana* Dampf, 1911 y *P. dissimilis* Peus, 1968; y a *Eospilopsyllus koberti* Perrichot, Beaucournu y Velten, 2012. Actualmente, todas las especies del género *Palaeopsylla* se encuentran extintas.

Aunque los fósiles han servido para determinar la antigüedad de las pulgas, se desconoce la especie ancestral de las pulgas contemporáneas. Una de las razones es la dificultad en la preservación de las estructuras morfológicas de estos insectos. Otra razón se debe a los escasos estudios paleontológicos enfocados en el hallazgo de ejemplares de pulgas fósiles. Sin embargo, en 1972 el entomólogo y especialista en pulgas Albertus Smit del Museo de Historia Nacional en Tring del Reino Unido, propuso por medio de las estructuras morfológicas como las mandíbulas de ejemplares fósiles, que los ancestros de las pulgas fueron insectos carroñeros, que vivieron en las madrigueras de sus futuros hospederos y perdieron las alas en el curso de la transición hacia el parasitismo. Estos insectos presentaban un aparato bucal del tipo masticador que eventualmente fue transformado en uno perforador que les permitió alimentarse succionando sangre. De esta manera, existen teorías que postulan que las pulgas han evolucionado de ancestros alados desde la época del Jurásico Tardío o Cretácico Temprano hace unos 125-150 millones de años, y de manera paralela a la evolución de los marsupiales.

## Parasitismo y evolución de las pulgas

Los parásitos se pueden dividir en dos tipos por la forma de vida con la que se relacionan con sus hospederos: endoparásitos, que son aquellos organismos que viven y se alimentan dentro del hospedero; y ectoparásitos, que son aquellos que viven y se alimentan afuera del cuerpo de su hospedero. Un ejemplo de parasitismo por endoparásitos son las infecciones por helmintos (gusanos planos) gastrointestinales que presentan vertebrados como las aves y mamíferos. Por otra parte, las infecciones por ectoparásitos involucran a las pulgas, garrapatas, piojos y los ácaros, principalmente.



Roedor silvestre (Cricetidae: *Peromyscus furvus*) hospedero de la especie de pulga *Ctenophthalmus pseudagyrte*.  
Fotografía: Abraham Mendoza Pérez.

Las pulgas y sus hospederos interactúan en una estrecha asociación conocida como parasitismo, que resulta de la relación simbiótica entre dos organismos de diferentes especies. En esta asociación, el parásito vive y depende de otro organismo considerado como el hospedero, que es una fuente de recursos alimenticios y proveedor de un espacio con características ambientales particulares que propician un medio para su reproducción. Así, la especie parásita resulta beneficiada mientras que la especie hospedera experimenta costos que van desde el daño físico hasta el fisiológico y que después de mucho tiempo puede causar incluso su muerte (Poulin *et al.*, 2006).

La interacción entre las pulgas y sus hospederos es el resultado de diferentes procesos ecológicos y evolutivos. Dichos procesos han jugado un papel importante en la diversificación de ambos grupos, donde la selección natural ha influido tanto en los ectoparásitos por obtener su recurso alimenticio, como en los hospederos, que logran evadir o disminuir el daño que pudieran provocar los ectoparásitos. Por ejemplo, los hospederos mamíferos presentan modificaciones respecto a la forma y tamaño del pelo, como una respuesta física y morfológica para lograr evadir a las pulgas. Así mismo, las pulgas han modificado sus estructuras morfológicas como la forma y el tamaño del cuerpo, el aparato bucal con el que succionan la sangre, o las patas delanteras y traseras, las cuales poseen uñas especializadas que les permiten sujetarse del pelo del hospedero. Algo sorprendente es que las pulgas saltan hasta 200 veces su tamaño, impulsándose con las patas traseras, utilizando la energía de la proteína resilina de alta elasticidad. Este comportamiento les permite sobrevivir al moverse entre diferentes hospederos. Este juego de estrategias de “colonización” por parte de los parásitos y de evasión por parte de los hospederos, se le conoce en el campo de la biología como la carrera armamentista o también la “hipótesis de la Reina Roja”. Concepto que los biólogos evolucionistas adoptaron de una de las novelas inglesas más famosas de finales del siglo XIX, para ilustrar dicha estrategia (Dawkins y Krebs, 1979).

## La reina roja

En la novela “Alicia a través del espejo” de Lewis Carroll (1865), el autor a través de sus personajes nos transporta a un país regido por la fuerza y poder de la temible Reina Roja, personaje antagonico. En la novela se muestran aspectos interesantes que muchos biólogos evolucionistas han retomado. Dentro de este mundo fantástico, las órdenes de la Reina Roja son incuestionables, no importa que meramente atiendan a caprichos, todo se debe cumplir. Cuando alguno de los aldeanos o la misma Alicia, personaje protagonista, se opone, cuestionando o desobedeciendo a la gran majestad, ella lanza a sus guardias la siguiente orden con un grito eufórico: ¡Que le corten la cabeza! Sin embargo, la estrategia de los aldeanos condenados a perder la cabeza es correr a una mayor velocidad con respecto a los guardias de la reina para evitar ser alcanzados y atrapados, y así asegurar su supervivencia. Sin embargo, algunos aldeanos no podrán correr demasiado rápido. Así, los que presenten una habilidad poco flexible para sus capacidades eminentemente serán castigados perdiendo la cabeza, pero otros, los que quieran llegar a otra parte deberán correr por lo menos dos veces más rápido y así podrán burlar a los guardias. Esta estrategia se encuentra en constante dinámica por parte de los involucrados, logrando que haya un equilibrio en la población de aldeanos frente al poder y castigo de la Reina Roja.

Ahora llevemos este hecho narrado en la novela de Carroll al plano de la vida silvestre entre los organismos vivos. En el campo de la biología evolutiva, la “hipótesis de la Reina Roja” propuesta por el biólogo evolucionista estadounidense Leigh Van Valen dentro su obra titulada “A new evolutionary law”, escrita a finales del siglo XX y publicada en la revista científica *Evolutionary Theory*, describe los mecanismos que actúan entre dos especies que interactúan y compiten entre sí en un mismo espacio, para adaptarse y evitar la extinción de manera individual en cualquiera de las dos especies. La hipótesis de la Reina Roja propone que, para sobrevivir, los individuos de ambas especies evolucionan constantemente durante el proceso competitivo de la carrera armamentista (Dawkins y Krebs, 1979). Por lo tanto, en el parasitismo, dicha hipótesis evolutiva ha jugado un papel importante en la diversificación de pulgas y hospederos.

## Adaptaciones al parasitismo

En la asociación ectoparásito y hospedero, los factores ambientales influyen en los procesos de selección natural, jugando un importante papel en el surgimiento de nuevas especies (por ejemplo, especiación). Dentro de esta asociación, las pulgas han respondido con modificaciones morfológicas, fisiológicas y conductuales a cada una de las reacciones químicas, fisiológicas o físicas que pudieran presentar sus hospederos como respuesta en contra del parasitismo, lo que ha influido en la diversificación tanto de los hospederos como de las pulgas. Así, es momento de recuperar el concepto de carrera armamentista, con ejemplos biológicos que ayuden a entender las adaptaciones de las especies que participan en el parasitismo.

Como grupo, las pulgas poseen mayor agilidad en comparación con otros ectoparásitos que son menos móviles



*La Reina Roja dando un sermón a Alicia (1871), John Tenniel.* Fuente: <https://www.fromoldbooks.org/LewisCarroll-AliceThroughTheLookingGlass/pages/036-red-queen-chastises-alice/730x907-q75.html>

como los piojos (Anoplura). Sin embargo, la agilidad física de las pulgas es reducida cuando parasitan especies o grupos de hospederos que tienen hábitos más sedentarios. Esta respuesta conductual permite a las pulgas evitar un gasto energético innecesario que puede ser empleado para evadir el ataque físico directo de su hospedero.

Otras respuestas adaptativas de las pulgas incluyen el relativo tamaño pequeño, el cuerpo estrecho y comprimido bilateralmente con una cabeza denominada cuneiforme, la flexibilidad articulada de los segmentos torácicos, la movilidad de las patas delanteras, también las patas traseras elongadas y aparatos sensoriales para la detección del movimiento de los hospederos. Con todas estas adaptaciones, pueden moverse activamente sobre el hospedero y entre las diminutas partículas de la superficie del suelo y realizar saltos para desplazarse en poco tiempo a distancias mayores a lo largo y ancho del cuerpo del hospedero (Medvedev, 2017).



Pulga del género *Plusaetis* hospedada por el tlacuache *Didelphis virginiana*. Macho. Fotografía: Abraham Mendoza Pérez.

La capacidad de las pulgas para realizar los saltos como un mecanismo de locomoción es un ejemplo de cómo su evolución ha moldeado la relación parásito-hospedero, permitiendo la existencia de especies de pulgas especialistas o específicas para determinado hospedero. Por ejemplo, el salto de la pulga alcanza mayor altura cuando parasita al ave *Ceratophylus styx* y es más pequeño en la pulga que parasita al murciélago *Ischnopsyllus octactenus*. Esto sugiere que los saltos de las pulgas pueden estar influenciados por la historia de vida de sus hospederos, ya que en organismos más veloces como las aves el salto debe ser más eficiente y rápido para lograr montar el cuerpo del ave. La variación en los saltos también es el resultado de diferencias morfológicas intraespecíficas. A través de un estudio publicado en el año 2003, el entomólogo Boris Krasnov y colaboradores demostraron que en siete especies de pulgas los machos tienen una menor capacidad de salto con respecto a las hembras.

Otras características de las pulgas como la forma de la cabeza y modificaciones en el cuerpo se relacionan con características particulares del pelo del hospedero. Un ejemplo es el del ratón espinoso egipcio *Acomys cahirinus* que es un hospedero específico para la pulga *Parapulex chephrenis*; este roedor posee un pelaje grueso, compuesto por

pelo muy corto y ampliamente espaciado, rígido con espinas de un compuesto químico llamado queratina, características que le brindan protección física. Con este tipo de pelaje las pulgas podrían desprenderse fácilmente. Sin embargo, el cuerpo de *P. chephrenis* está cubierto por fuertes cerdas que facilitan su resistencia ante el acicalamiento del hospedero (Krasnov *et al.*, 2003). Esta estrategia mecánica permite a la pulga evadir la respuesta morfológica antiparasitaria del hospedero y le asegura la supervivencia. En ambos casos, la selección natural operada a través de esta interacción ha moldeado cada una de las estructuras morfológicas en estos organismos.

Las adaptaciones morfológicas, anatómicas y bioquímicas específicas de las pulgas y sus hospederos también ha jugado un papel importante en la diversificación de especies (Richner, 1998). Existe la hipótesis que argumenta que la diversificación de pulgas más grande del suborden Siphonaptera se originó a la par con la alta diversificación de los roedores (Rodentia), la cual data aproximadamente de tiempos del Eoceno. Un ejemplo distinguible de la especificidad de las pulgas es la familia Ischnopsyllidae que al estar asociadas a varias especies de murciélagos –de hábitos nocturnos– muestran la ausencia de ojos, característica que gracias a la selección natural les evita un costo energético.



*Didelphis marsupialis*, tlacuache hospedero de las pulgas perteneciente a la familia Ceratophyllidae. Fotografía: Jorge Ramos Luna.

### ¿Quiénes son los hospederos de las pulgas?

Se estima que el 94% de las especies de pulgas descritas a nivel mundial son parásitos de mamíferos como los roedores, los marsupiales, los zorros, gatos silvestres y domésticos, e incluso del ser humano y de su mejor amigo, el perro. El 6% de las especies restantes son parásitos de aves terrestres y marinas.

A través de diferentes investigaciones sobre infecciones por pulgas en la fauna silvestre de diversas regiones geográficas del mundo, se conoce que estos ectoparásitos parasitan al ornitorrinco (*Ornithorhynchus anatinus*, Monotremata), a tlacuaches (*Didelphis virginiana*, Didelphimorphia), a casi todas las especies de roedores (Rodentia), a los conejos silvestres y domésticos (Lagomorpha), a murciélagos (Chiroptera), osos hormigueros (Pilosa), y grandes félidos como los tigres (Carnivora). También sus hospederos incluyen algunas especies de ganado, como las ovejas, las vacas y los cerdos, e incluso el propio ser humano como hospedero accidental.

La mayoría de las especies de pulgas son de importancia médica, debido a que pueden participar como transmisores de agentes infecciosos como virus, bacterias o protozoarios en algunas especies hospederas de mamíferos y aves. Estos agentes pueden generar algún tipo de daño fisiológico afectando negativamente la salud, la capacidad de reproducción e incluso el comportamiento del hospedero.

Las infecciones por pulgas ocurren con menor frecuencia en aves; sin embargo, algunos hospederos de este grupo son las del orden Passeriformes, aves marinas y sorprendentemente los pingüinos (Sphenisciformes; Holland, 1964). Estos últimos pueden ser parasitados por la especie de pulga *Parapsyllus magellanicus heardi*. Dichas pulgas se agrupan y depositan los huevos en los nidos de los pingüinos. Cuando las larvas eclosionan del huevo, hibernan y desarrollan su ciclo de vida en el nido, en donde, una vez que alcanzan la etapa adulta colonizan a los polluelos de pingüinos.



Conejo silvestre *Sylvilagus floridanus* hospedero de la especie de pulga *Hoplopsyllus glacialis affinis*. Fotografía: Jorge Ramos-Luna.

## Conclusiones

La selección natural juega un papel muy importante en las relaciones de los ectoparásitos con sus hospederos, por ejemplo, al moldear características morfológicas y fisiológicas tanto en las pulgas como en los hospederos. Esta es una carrera armamentista en la cual cada organismo involucrado en esta interacción adquiere nuevas estrategias o “armas” para su propio beneficio, la pulga para alimentarse del hospedero y el hospedero para librarse de la pulga. Por lo tanto, la asociación parasítica pulga-hospedero ha forjado la vida de estos organismos como la conocemos y ha contribuido a la diversificación de las especies. El estudio del parasitismo desde una perspectiva ecológica nos ha proporcionado información importante sobre la evolución de la vida en el planeta. 

## Agradecimientos

Al CONACyT por el apoyo otorgado al proyecto de Investigación Científica Básica de Maestría con número: 1059592.

## Referencias

- Dampf, A. 1911. *Palaeopsylla klebsiana* n. sp. Ein fossiler Floh aus dem baltischen Bernstein. *Schriften der Physik.-ökonom. Gesellschaft zu Königsberg-i.-Pr, Ll., Jahrgang*, 2: 248.
- Dawkins, R., Krebs, J. R. 1979. Arms races between and within species. *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, 205: 489-511.
- Holland, G. P. 1964. Evolution, classification, and host relationships of Siphonaptera. *Annual Review of Entomology*, 9: 123-146.
- Krasnov, B. R., Sarfati, M., Arakelyan, M. S., Khokhlova, I. S., Burdelova, N. V. y Degen, A. A. 2003. Host specificity and foraging efficiency in blood-sucking parasite: feeding patterns of the flea *Parapulex chephrenis* on two species of desert rodents. *Parasitology Research*, 90: 393-399.
- Medvedev, S. G. 2017. Adaptations of Fleas (Siphonaptera) to Parasitism. *Entomological Review*, 97: 1023-1030.
- Perrichot, V., Beaucournu, J. C. y Velten, J. 2012. Firts extinct genus of a flea (Siphonaptera: Pulicidae) in Miocene amber from the Dominican Republic. *Zootaxa*, 3438: 54-61.
- Peus, F. 1968. Über die beiden Bernstein-Föhe (Insecta, Siphonaptera). *Paleontology. Zh*, 42: 62-72.
- Poulin, R., Krasnov, B. R., Shenbrot, G. I., Mouillot, D. y Khokhlova, I. S. 2006. Evolution of host specificity in fleas: Is it directional and irreversible? *International Journal of Parasitology*, 36: 185-191.
- Richner, H. 1998. Host-parasite interactions and life-history evolution. *Zoology*, 101: 333-344.
- Smit, F. G. A. M. 1972. One some adaptive structures in Siphonaptera. *Folia Parasitologica (Prague)*, 19: 5-17.

