



## Avispas parasitoides, intrincadas estrategias de reproducción.

Natalia Martínez Ainsworth

El parasitoidismo es una de las interconexiones más intrincadas que han surgido en la evolución de los seres vivos. Se trata de una modalidad reproductora asombrosa y a la vez espeluznante ¿te interesa saber de qué se trata?

Los organismos parasitoides se alimentan de otros organismos, los hospederos; se asemejan a los parásitos porque requieren de otro ser vivo para vivir pero, a diferencia de éstos, siempre terminan matándolo.

En este texto, trataré el caso de las avispas parasitoides cuyas larvas se alimentan exclusivamente del cuerpo de otro insecto o arácnido. Estas avispas ponen sus huevos sobre o dentro del cuerpo de estos animales y cuando las larvas eclosionan lo devoran vivo. Cuando las larvas se transforman en avispas

adultas, en algunas especies, éstas se pueden aparear con avispas nacidas del mismo hospedero. Más tarde, los machos mueren y las hembras emigran en busca de otro hospedero para depositar sus huevos.



La avispa parasitoide *Cotesia glomerata* ovopositando sobre oruga. Foto: Shingo Tanaka, Universidad de Hokkaido

### **Parasitoidismo: una estrategia efectiva**

Las avispas parasitoides tienen una muy refinada estrategia de reproducción: con un órgano especializado llamado ovopositor, inyectan sus huevos en el hospedero, pero a la vez inoculan veneno para paralizarlo por completo o sólo por un momento. Además, este veneno modifica sus tejidos haciéndolos más nutritivos para las larvas, y por si fuera poco, también actúa sobre su sistema inmunológico para evitar que el hospedero se defienda y encapsule los huevos o las larvas. Por su parte, las larvas parasitoides impiden que su hospedero sucumba por una infección bacteriana o fúngica antes de que terminen de crecer dentro de él. Para ello, secretan sustancias antibacterianas y antisépticas

conforme se mueven dentro del cuerpo del hospedero. Acorde a esto, las larvas se alimentan primero de las reservas de grasa y del aparato reproductor y dejan al final el sistema digestivo, que es una fuente potencial de bacterias. Un mecanismo eficiente para oponerse al sistema inmunológico del hospedero y alimentarse plenamente de él es comer a “distancia”. Es decir, el embrión que crece dentro de cada huevo tiene una membrana que se fragmenta en muchísimas células pequeñas (teratocitos), que aumentan hasta 3000 veces su tamaño y cuya superficie está cubierta por microvellosidades parecidas a las células del epitelio intestinal. Se piensa que estas células sirven para que le sea más difícil al sistema inmunológico del hospedero encapsularlos y que secretan enzimas, antimicóticos y sustancias que interfieren con el sistema inmunológico.



Larva de avispa parasitoide alimentándose dentro del cuerpo de una oruga. Foto: National Geographic

### **Venenos de parálisis completa y momentánea.**

Este *sui generis* comportamiento lleva cerca de 160 millones de años de refinamiento evolutivo, es decir, el tiempo que hace desde que surgieron

los primeros linajes de avispas parasitoides. La conducta parasitoide alcanza tal sutileza, que las avispas pueden matar a su hospedero de dos maneras: rápida o lentamente.



Aparato de veneno de una avispa parasitoide. VG: glándula del veneno, VR: reservorio del veneno, VD: ducto del veneno y OP: ovopositor. Dorémus *et al.*, 2013 *Insect Biochemistry and Molecular Biology*.

Por un lado, si las avispas paralizan por completo al hospedero, las funciones y desarrollo de éste se ven truncados por lo que las larvas tendrían que consumirlo y crecer a toda velocidad. Si esta estrategia es la seleccionada es conveniente que la avispa inyecte pocos huevos, pero grandes. Ahora, la elección del hospedero es un tema muy importante, pues debe ser suficientemente grande al momento en que se dejan los huevos para que todas las larvas alcancen a alimentarse. Y una condicionante más es que si, por ejemplo, el hospedero es una deliciosa oruga regordeta, es importantísimo que cuando sea paralizada se encuentre en un lugar escondido, lejos de la vista de un pájaro, que se la pueda merendar con todo y los huevecillos.



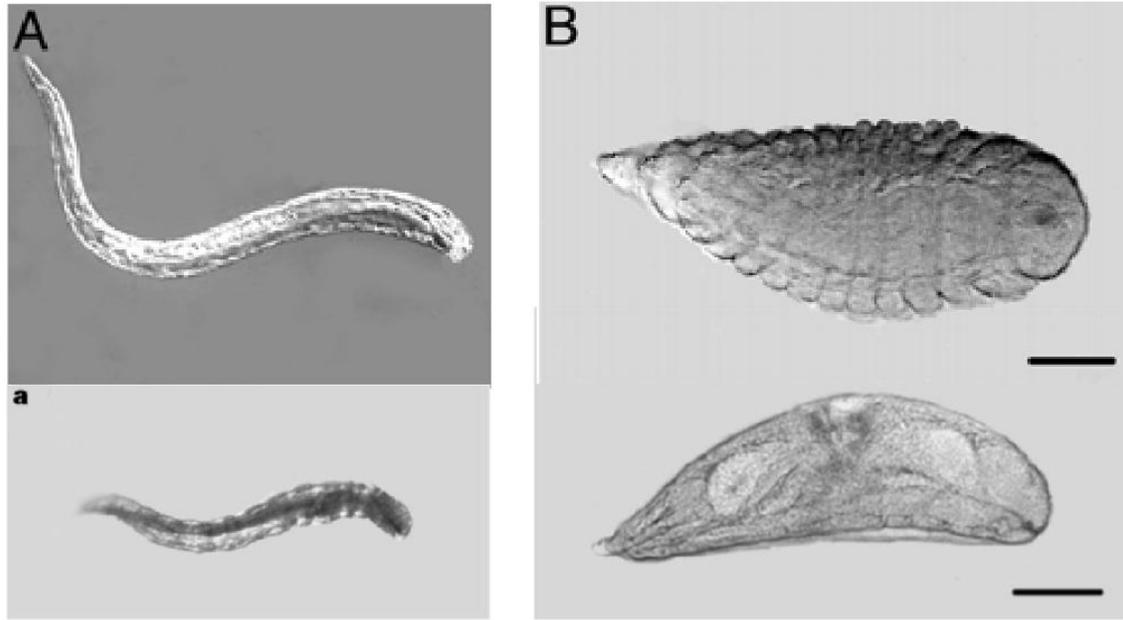
La oruga *Manduca sexta* con los capullos de la avispa parasitoide *Cotesia congregata*. Fuente: Wikimedia Commons.

Ahora bien, si se consume el manjar con toda calma, el hospedero se seguirá desarrollando y alimentando mientras es devorado. Por eso, el veneno suministrado debe tener efectos parciales para permitir que continúe alimentándose y evadiendo otros peligros potenciales. El comportamiento parasitoide es tan fino que se precisan ciertas precauciones para que el sistema inmunológico del hospedero no ataque a los invasores. Estas precauciones implican modificaciones para prevenir la encapsulación lo cual conlleva que cada especie de avispa posea un veneno específico para ciertas especies de hospederos. Incluso estas avispas pueden recordar el olor de la oruga dentro de la cual crecieron para buscar una de la misma especie para depositar sus propios huevos.

## **Multiplicación asexual y hermanas feroces.**

Existen varias historias de vida muy elaboradas en las avispas parasitoides. Las historias de vida son el conjunto estratégico de las etapas que conforman el desarrollo de los organismos, el tiempo que se asigna a cada proceso y la cantidad y tipo de progenie que producen. Todo depende de los objetivos, las prioridades y los compromisos que se acumulan en sus “decisiones evolutivas”.

Por ejemplo, si el objetivo es tener el mayor número de descendientes ¿por qué no poner solamente uno o dos huevos en cada hospedero y que ese único huevo se divida asexualmente para formar hasta 2000 avispas idénticas? ¡Esa estrategia no sólo existe, sino que funciona y se llama poliembrionía! y aparentemente es muy popular, pues ha surgido de manera independiente en cuatro familias de avispas parasitoides. Dado que más de una avispa podría poner sus huevos en el mismo hospedero, la competencia al interior del hospedero es feroz. No todas las larvas se desarrollan al mismo tiempo, sino que unos cinco u ocho embriones lo hacen más rápidamente y poseen mandíbulas mucho más grandes que sus hermanas. Estas larvas no alcanzan la madurez, sino que mueren por defender a sus hermanas, con las cuales comparten el 100% de sus genes.



Larvas de avispa parasitoide soldados (a) y larvas que formarán avispas adultas y se reproducirán (b). Foto: Harvey et al, 2000 *Nature*.

### Antiguo mutualismo con virus.

La interacción se hace aún más efectiva para los parasitoides con la intervención de un nuevo participante: un virus. En concreto se trata del poly-DNA-virus que es inyectado junto con el veneno al momento de la ovoposición y que ataca al sistema inmune del hospedero e interfiere con sus hormonas del desarrollo. Y no cabe la menor duda de que la mejor manera de transportar los virus es dentro del propio material genético de las avispas; es decir que, tanto avispas hembras como machos tienen en sus células el material genético del virus incorporado dentro de su genoma. Los poly-DNA-virus se replican dentro de la avispa para que posteriormente ésta inserte sus huevos y las partículas virales en el hospedero. Esta relación es ventajosa para ambos; las avispas evitan su encapsulación por parte del hospedero y los virus aseguran su

transmisión. Esta relación surgió en las avispas de forma independiente en dos linajes hace unos 70 millones de años.

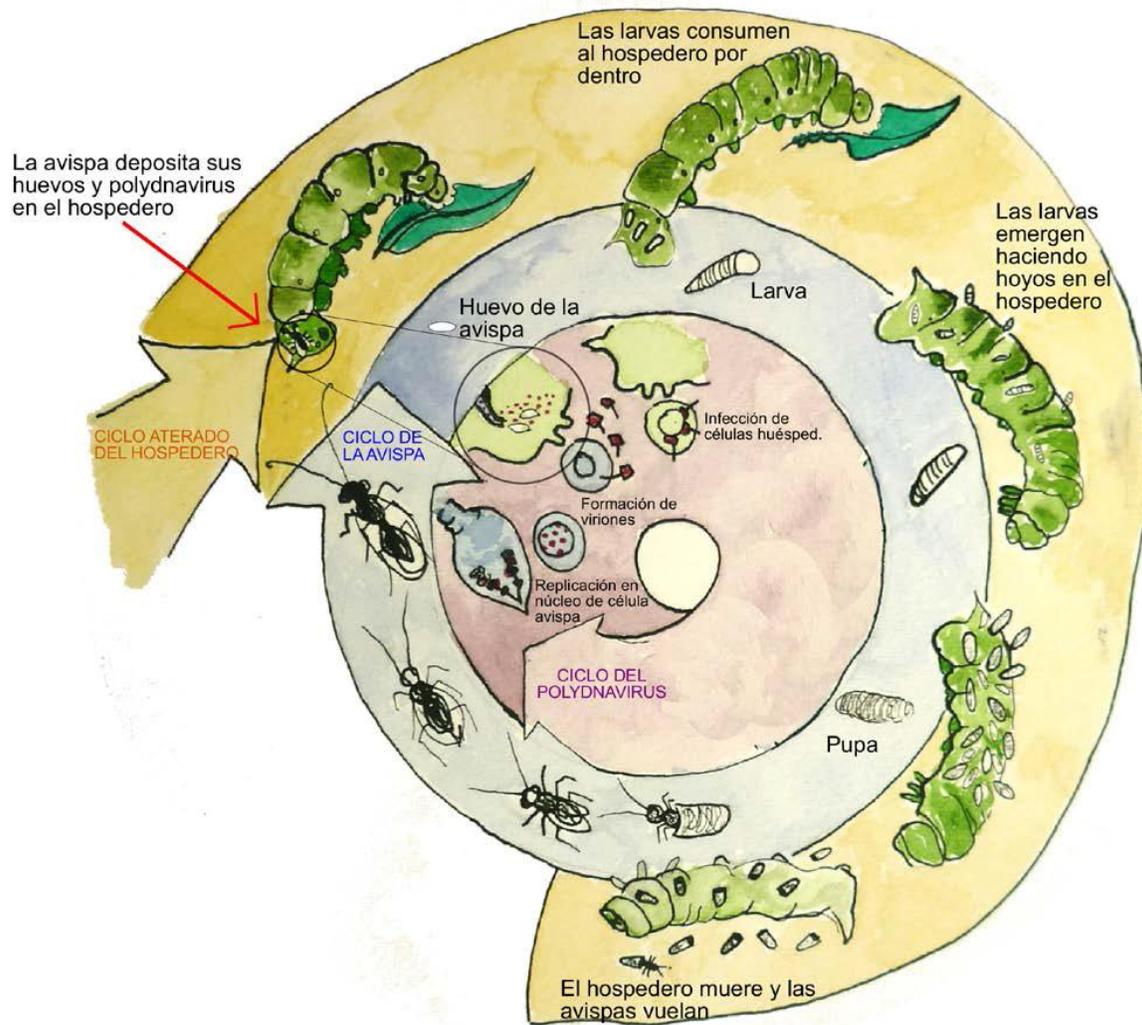


Viriones maduros de PolyDNA-virus, cada uno contiene varias nucleocápsidas. Foto: Stolz, 2008. *Journal of Virology*

### **Manipulación en la proporción de hijas e hijos.**

Para condimentar un poco más la intervención de terceros en la reproducción de las avispas, hablemos de cómo se determina el sexo en las crías de las avispas. Estas avispas se reproducen por haplodiploidía, lo cual significa que los huevos fertilizados producen hembras, mientras que los no fertilizados producen machos. Es decir, las hembras tienen dos copias de su material genético mientras que los machos sólo una. Las hembras guardan el esperma que reciben de los machos y pueden decidir cuándo y cuántos huevos fecundar. Este mecanismo permite que las hembras puedan determinar qué proporción de machos y hembras nacerán. La biología reproductiva de las avispas se conjuga con el parasitoidismo para dar lugar a sesgos circunstanciales en la proporción

de sexos. En muchas ocasiones más de una avispa parasitoide deja sus huevos en el mismo hospedero. Entonces, la primera avispa que llegue pondrá una proporción de pocos machos y muchas hembras en sus huevos, pues al aparearse entre sí, se requieren de pocos machos para fecundar el total de hembras. Sin embargo, la decisión de la segunda avispa que arribe a la oruga hospedera, sobre cuántos machos y cuántas hembras engendrar, dependerá de lo que hizo la anterior. Las avispas dejan marcas químicas en los hospederos parasitados, que son reconocidas por las siguientes avispas. Dado que la anterior puso muchas hembras y pocos machos, sería conveniente producir más machos que ella para, de esta manera, “ganarle” sus hembras y tener nietos de sus hijas así como de las propias. Entre mayor sea el número de avispas que parasita la misma oruga, aumentará la competencia entre sus larvas al interior del hospedero y por buscar pareja, y cada vez se acercarán las proporciones de sexos a 1:1, es decir el mismo número de machos que de hembras.



Interrelación de ciclos de vida del hospedero (oruga), la avispa parasitoide y su polydnavirus.

Ilustración basada en la propuesta de Beckage, 1997, *Scientific American*.

### Una bacteria ultrafeminista.

Pero toda esta maleabilidad pudiera caer en las manos equivocadas. ¿Otro organismo podría abusar de este sistema para su propia conveniencia? Sí, claro. En este caso, la campeona manipuladora de la sexualidad de las avispas parasitoides es la bacteria *Wolbachia*. Esta bacteria vive dentro de las células de varios invertebrados y se transmite verticalmente (de progenitores a

progenie) en las células reproductivas femeninas al meterse a sus huevos, pues los espermatozoides son muy pequeños para cargar con las bacterias. Al transmitirse únicamente vía materna, los machos resultan un callejón sin salida para las bacterias. Es por esto que *Wolbachia* opta por sesgar la proporción de sexos hacia más hijas. Aprovecha el sistema de haplodiploidía, donde los huevos no fertilizados serán machos, y arresta el proceso de meiosis produciéndose una sola célula diploide sin fertilizar que dará lugar a una hembra infectada cuyas dos copias de material genético son iguales a su madre, este evento se conoce como inducción de la partenogénesis. Quiere decir que todas las hijas de esta avispa serán idénticas a su madre. Inclusive esta bacteria al encontrarse en los huevos de una avispa dentro de un hospedero puede migrar e infectar lo huevos de otra avispa que haya parasitado el mismo hospedero.



Huevo de avispa parasitoide teñido para mostrar *Wolbachia* en puntos azul claro. La bacteria se encuentra en la parte del huevo que se convertirá en el aparato reproductor de una hembra.

Foto: Salvedra y Stouthamer, 2003, *NSF*.

## **Alianza de plantas con avispas parasitoides.**

Indirectamente, todo este parasitoidismo y reproducción devienen como parte de una red alimentaria. Ahora bien, hay otro integrante que no hemos consultado: las plantas. Sí, las plantas, que son atacadas por las mismas orugas o insectos donde las avispas parasitoides ponen sus huevos. Las avispas encuentran al hospedero por el olor de éste pero también por compuestos volátiles que producen algunas plantas. Estos químicos volátiles se generan en la parte de la planta atacada por la oruga, en respuesta a compuestos de su saliva. De esta manera la planta avisa a las avispas que ahí hay alimento, al tiempo que se libra de su plaga de insectos. Pero no sólo eso, sino que las mismas orugas en distintas plantas provocan perfiles de compuestos volátiles que son específicos para cada especie, lo cual permite a las avispas parasitoides optimizar su búsqueda del hospedero ideal. Inclusive, se ha sugerido el uso de ciertas especies de avispas parasitoides como control biológico de plagas en la producción agrónoma.

Las estrategias diversas que presentan las avispas parasitoides son reflejo de las disputas y compromisos de la proporción de tiempo de vida dedicado a distintas etapas del desarrollo. Las treguas encontradas ayudan en la continuación de los linajes. Existen muchos actores involucrados con roles insospechados que se van develando cuanto más se estudia al grupo.

## **Bibliografía recomendada**

1. Beckage, N. 1997. The Parasitic Wasp's Secret Weapon. *Scientific American*. p. 82-87
2. [Laboratorio Whitfield](#) de Sistemática de Himenópteros Parasíticos. Universidad de Illinois.
3. [National geographic. Body Invaders.](#)

4. Pan, J. 2010. Host Interaction and Regulation in Parasitoid Wasps. *Connexions*, cc. <http://cnx.org/content/m34732/latest/>
5. Taylor, P. 2012. Sex, evolution and parasitic wasps. *+plus magazine* Universidad de Cambirdge <http://plus.maths.org/content/mathematics-sex-evolution-and-parasitic-wasps?src=aop>
6. Wolbachiacollection. Recursos Educativos de la Vida Microbiana. National Science <http://serc.carleton.edu/microbelife/topics/wolbachia/resources.html>

### Bibliografía especializada

1. Federici, B. y Y. Bigot. (2003) Origin and evolution of polydnviruses by symbiogenesis of insect DNA viruses in endoparasitic wasps. *Journal of Insect Physiology*. 49 (5):419-32
2. Godfray, H. 1994. Parasitoids. Behavioral and Evolutionary Ecology. Princeton University Press.
3. [https://gs1.wac.edgecastcdn.net/8019B6/data.tumblr.com/e5ebfaa2496e5fe3f4cd82cbae7e75f2/tumblr\\_mijyl5B9tQ1qdlh1io1\\_400.gif](https://gs1.wac.edgecastcdn.net/8019B6/data.tumblr.com/e5ebfaa2496e5fe3f4cd82cbae7e75f2/tumblr_mijyl5B9tQ1qdlh1io1_400.gif)
4. Kraaijeveld, K., P. Franco, P. de Kniff, R. Stouyhamer y J. Van Alphen. 2011. Clonal genetic variation in *Wolbachia*-infected asexual wasp: horizontal gene transfer or historical sex? *Molecular Ecology*. 20: 3644-3662
5. Wei, J., L. Wang, J. Zhur, S. Zhang, O. Nadi y L. Knag. (2007) Plants attract parasitic wasps to defend themselves against insect pests by releasing hexenol. *PLoS ONE* 2(9) e852.