

Darwin, los pinzones y las plantas carnívoras

◆ Raúl E. Alcalá

A lo largo de su vida Darwin contribuyó significativamente al conocimiento en diversas áreas de lo que hoy conocemos como biología evolutiva, la disciplina que se enfoca en entender las causas últimas del cambio evolutivo poniendo énfasis en procesos como la adaptación y la especiación. Su contribución más influyente radica en el planteamiento del mecanismo de evolución por selección natural. En este contexto, uno de los ejemplos más emblemáticos del tipo de evidencia que se ha utilizado para sustentar la adaptación y el origen de nuevas especies a partir de especies ancestrales, son los llamados “pinzones de Darwin”. La información obtenida de estas aves en las islas Galápagos ha llegado a ser del dominio público y suele ser utilizada en la docencia en niveles básicos.

Paradójicamente, uno de los ejemplos más sobresalientes de adaptación proviene de un grupo de organismos muy diferente a los famosos pinzones. En este caso, tanto la biología de este grupo, como el origen de los primeros estudios científicos al respecto, son casi desconocidos por el público en general. De manera interesante, estos se han derivado de una de las contribuciones menos difundidas pero más curiosas de Darwin: la que realizó al observar algunos insectos que yacían pegados a

las hojas de algunas plantas. Aunque originalmente Darwin asoció esta observación con un mecanismo defensivo de las plantas contra los insectos que se las comen, también pensó en otra probable explicación, por lo que realizó una serie de experimentos en los que quitaba o agregaba insectos, midiendo durante cierto tiempo el crecimiento de las plantas. Con ello logró mostrar que aquellas plantas con más insectos en sus hojas crecían vigorosamente y se desarrollaban mejor, con lo cual se convirtió en el primero en demostrar que los insectos adheridos a las hojas podían ser utilizados por las plantas para obtener algunos nutrientes minerales, evidenciando por primera vez el valor adaptativo de las plantas carnívoras.¹

Plantas carnívoras

Las plantas carnívoras suelen ser pequeñas; característicamente habitan alrededor del mundo, en suelos pobres en nutrientes excepto en las regiones polares y en los desiertos más extremos, se conocen cerca de 600 especies (Tabla 1). Con base en comparaciones de las características morfológicas de las plantas de las distintas especies (por ejemplo, tipo de semilla, desarrollo de las hojas, estructura de las flores), pero sobre todo con el estudio de la variación en el ADN, los biólogos han mostrado

¹ Charles Darwin, *Insectivorous Plants*, John Murray, Londres, 1875.



Tabla 1
Representación taxonómica de las especies de plantas carnívoras reconocidas actualmente

Orden	Familia	Género	Número de especies	Rango de distribución
Caryophyllales	<i>Dioncophyllaceae</i>	<i>Triphyophyllum</i>	1	Restingido
	<i>Droseraceae</i>	<i>Aldrovanda</i>	1	Restingido
		<i>Dionaea</i>	1	Restingido
		<i>Drosera</i>	150	Cosmopolita
	<i>Drosophyllaceae</i>	<i>Drosophyllum</i>	1	Restingido
	<i>Nepenthaceae</i>	<i>Nepenthes</i>	103	Malasia
Ericales	<i>Roridulaceae</i>	<i>Roridula</i>	2	Restingido
	<i>Sarraceniaceae</i>	<i>Darlingtonia</i>	1	Restingido
		<i>Heliamphora</i>	15	Restingido
		<i>Sarracenia</i>	8	Restingido
Lamiales	<i>Byblidaceae</i>	<i>Byblis</i>	6	Restingido
	<i>Lentibulariaceae</i>	<i>Genlisea</i>	22	Hemisferio sur
		<i>Pinguicula</i>	80	Hemisferio norte
		<i>Utricularia</i>	220	Cosmopolita
Oxalidales	<i>Cephalotaceae</i>	<i>Cephalotus</i>	1	Restingido
Poales	<i>Bromeliaceae</i>	<i>Brocchinia</i>	2	Restingido

que la carnivoría en plantas ha evolucionado al menos cinco veces de manera independiente dentro de las angiospermas o plantas superiores, y han señalado su origen como polifilético.²

A causa de la presión característica de los sitios con baja fertilidad, las plantas carnívoras han pasado de tener hojas cuya función primordial estaba asociada con la captura de luz y el proceso fotosintético, a tener hojas altamente modificadas en sistemas de trampa con los cuales capturan una gran variedad de presas pequeñas, particularmente insectos (Figura 1). La adquisición de nutrimentos

minerales, a partir de la captura y digestión de sus presas, les ha conferido a estas plantas la ventaja de reducir ampliamente la competencia con otras especies al poder colonizar con éxito sitios muy pobres en nutrimentos, inaccesibles para la mayoría de las plantas.³

Sistemas de trampas

Las hojas de las plantas carnívoras han evolucionado en la conformación de diferentes sistemas de trampas. Los sistemas denominados adhesivos están basados en la presencia de glándulas que

² El origen polifilético se refiere, dentro de la filogenia, a la polifilia, la cual describe la existencia de miembros de algún grupo repartidos entre diferentes linajes sin incluir el ancestro común a todos ellos. El concepto contrario es la monofilia.

³ Raúl E. Alcalá y César A. Domínguez, "Biología de las plantas carnívoras: aspectos ecológicos y evolutivos", *Boletín de la Sociedad Botánica de México*, vol. 60, 1997, pp. 59-69.

producen una sustancia pegajosa para la retención de las presas (Figura 1, a). Al descender o caminar sobre la hoja, la presa potencial entra en contacto con esta sustancia y sus mismos movimientos de escape propician la activación de una mayor cantidad de glándulas, con lo cual queda finalmente adherida a las hojas.

Otro sistema, es el de las trampas con forma de urna o jarrón, estructuras que pueden llegar a almacenar hasta un litro de agua (Figura 1,b). En este caso, las presas son atraídas hacia la entrada de las trampas por algunos aromas y colores; al posarse en los bordes de los tanques, resbalan y caen en una mezcla de agua con enzimas digestivas de la que difícilmente logran escapar. Pero los sistemas de trampas más fascinantes son los sistemas activos, presentes en pocas especies, que pueden cerrar sus trampas durante lapsos muy cortos (Figura 1, c y d). Algunas especies han desarrollado en el extremo distal de sus hojas dos lóbulos que se unen a manera de bisagra y que pueden cerrarse por un intervalo menor a un segundo. Los lóbulos tienen algunos pelos sensitivos en su superficie que, al ser tocados por un insecto, operan como *gatillos* que activan el cierre de las trampas (Figura 1, c).

Algunas especies de plantas carnívoras acuáticas tienen pequeñas vesículas o utrículos que se abren al contacto con una presa. Debido a la marcada diferencia de presión entre el interior de la trampa con el medio acuático, las presas son literalmente succionadas por ellas (Figura 1, d).⁴

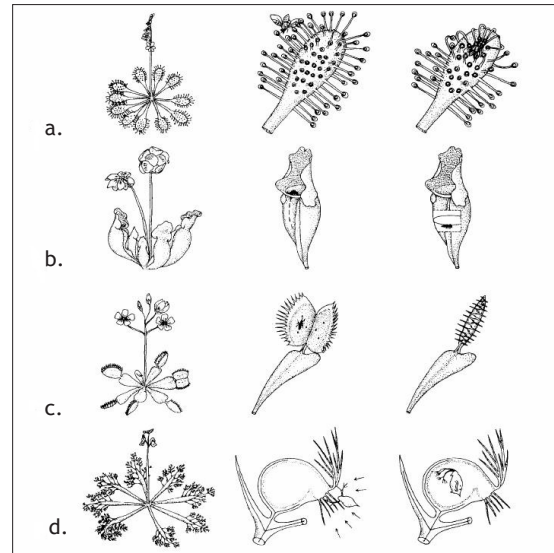


Figura 1, a, b, c, d.

Líneas de estudio

En comparación con los pinzones, el conocimiento sobre la biología de las plantas carnívoras se ha incrementado sustancialmente en las últimas dos décadas, pues ha habido avances tecnológicos que podrían maravillar al mismo Darwin, como isótopos radiactivos o herramientas de análisis de la variación molecular que permiten entender mejor cómo se lleva a cabo la asimilación de las presas y comprender sus relaciones evolutivas, respectivamente.

Los estudios sobre la ecología y evolución de las plantas carnívoras han abordado al menos cuatro líneas diferentes:

Distribución taxonómica de las especies. Los botánicos han registrado que las especies de plantas carnívoras no están repartidas de manera aleatoria entre todos los grupos de angiospermas. De

⁴ B. E. Juniper, R. J. Robins y D. M. Joel, *The Carnivorous Plants*, Academic Press, Londres, 1989.



acuerdo con las clasificaciones más modernas, basadas en el uso de filogenias moleculares, las especies de plantas carnívoras han evolucionado tan solo en cinco órdenes (Tabla 1). Destaca la existencia de pocos géneros que se han diversificado ampliamente respecto a la mayoría, que son géneros monotípicos y de distribución fuertemente restringida. Estos cuatro géneros, altamente diversos, albergan en total cerca de 550 especies localizadas en grandes regiones en casi todo el planeta.

Caracterización de la dieta de las diferentes especies. Una de las predicciones derivadas del valor adaptativo de las plantas carnívoras establece que la captura de presas no debería ser un proceso aleatorio determinado solamente por la probabilidad de interactuar con alguna presa potencial. La evidencia empírica ha mostrado que las plantas carnívoras tienen características que funcionan por medio de la atracción activa de las presas; por ejemplo, a través de la secreción de néctar extrafloral, con ciertas fragancias o con trampas coloridas. En el primer caso, las glándulas secretoras de néctar se localizan cerca de la entrada de la trampa. Algunos experimentos de campo en los que se ha variado el color de las trampas, mediante el uso de pinturas especiales, han mostrado que aquellas más coloridas tienden a atraer más presas. En conjunto, los resultados han mostrado que, en la mayoría de las especies estudiadas, estos mecanismos de atracción incrementan sustancialmente la captura con respecto a lo que se espera al azar, dada la abundancia de tipos de presas.

Relación del hábito carnívoro con el desempeño (adecuación) de las plantas. Los estudios de campo y de laboratorio han mostrado que las plantas car-

nívoras pueden adquirir nutrimentos como nitrógeno, fósforo o potasio, a partir de la asimilación de sus presas. Algunas especies dependen en menor grado de la captura de presas, dado que han logrado mantener la capacidad de obtenerlas mediante la raíz. En otros casos, la especie se ha especializado tanto en la captura, que el aporte de estos nutrimentos a través de la raíz es prácticamente nulo, pues esta funciona más como un mecanismo de anclaje al sustrato. En estos casos, las especies altamente dependientes de la carnivoría pueden llegar a obtener de sus presas hasta 80% del nitrógeno que requieren durante un ciclo de crecimiento. Otros estudios en los que se ha manipulado la cantidad de presas asimiladas por las plantas mediante adición y sustracción, han mostrado que los individuos con mayor número de presas capturadas tienen una mayor adecuación, la cual se manifiesta en mayor crecimiento, sobrevivencia o fecundidad. En conjunto, estos estudios realizados con diversas especies de plantas carnívoras, sustentan fuertemente el valor adaptativo de la carnivoría en plantas.

Aproximaciones teóricas sobre la ecología y la evolución de la carnivoría. Los biólogos se han cuestionado el porqué de la existencia de tan pocas especies, dado que las reconocidas representan un porcentaje mínimo del total registrado dentro de las angiospermas. Conjuntando la evidencia empírica sobre los hábitats en los que frecuentemente se encuentran estas plantas con los experimentos que han medido el crecimiento o la reproducción en diferentes condiciones de iluminación (bajos y altos niveles de luz), se han propuesto varios modelos que intentan explicar la existencia de limi-

tantes para la evolución del hábito carnívoro. El modelo más reconocido e influyente, con mayor evidencia a su favor, fue propuesto a mediados de los años ochenta, y supone que el desplazamiento hacia las características asociadas con la carnivoría tiene la ventaja del incremento fotosintético por vía de la adquisición de minerales como el nitrógeno, obtenido de las presas. Supone también, que dicha inversión es costosa para las plantas, dado que los recursos empleados para construir las trampas y la “maquinaria” enzimática, requieren de carbono. Por tal razón, el modelo predice que la carnivoría podría maximizar el beneficio con respecto al costo, en condiciones cuya única limitante para la fotosíntesis sea la baja disponibilidad de nitrógeno. Es decir, la carnivoría ocurrirá solamente en hábitats pobres en nutrientes, pero bien iluminados y húmedos. Dada esta condición, su potencial de evolución hacia ella se ve fuertemente restringido, lo cual explica en parte el bajo número de este tipo de especies de plantas carnívoras.⁵

Plantas carnívoras mexicanas

En México se encuentra cerca de 10% de las especies de plantas carnívoras reportadas mundialmente. El género *Pinguicula*, en particular, es muy relevante, ya que en el país se localizan cerca de 50 especies, valor que corresponde aproximadamente a 60% del total de este género en el mundo. La mayor parte de las especies habita en las zonas mon-

tañosas, en altitudes superiores a los 2 000 metros, por lo que suelen estar asociadas con bosques de pinos y encinos. Las zonas de mayor riqueza se localizan en la Sierra Madre Oriental y en Oaxaca, con cerca de 28 y 14 especies, respectivamente. La mayoría se distribuye en forma restringida, el resto ampliamente, y llegan hasta Centroamérica.

Actualmente, sigue habiendo una gran cantidad de preguntas sobre los factores que han ayudado al desarrollo de la carnivoría en algunos (pocos) grupos de plantas, las presiones ecológicas que la mantienen, el efecto relativo que la interacción con otros insectos pueda tener para su adecuación, entre otros más. En el Departamento de Ecología Evolutiva del Centro de Investigación en Biodiversidad y Conservación (Cibyc) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) se realiza investigación sobre los componentes de la evolución de estas plantas. En particular mediante herramientas que permiten analizar la variación en el ADN, se busca comprender los procesos históricos y evolutivos asociados con la elevada diversificación del género *Pinguicula*. Por otra parte, se ha estudiado a estas plantas como un sistema muy atractivo para evaluar hipótesis asociadas a su interacción no solo con sus presas, sino también con otros grupos ecológicos, como sus polinizadores y los insectos que se las comen, ya que impactan de manera diferente en su probabilidad de sobrevivencia y de reproducción.⁶

⁵ Aaron M. Ellison y Nicholas J. Gotelli, “Evolutionary ecology of carnivorous plants”, *Trends in Ecology and Evolution*, vol. 11, 2001, pp. 623-629.

⁶ S. Zamudio, *Revisión de la sección Orcheosantus, del género Pinguicula (Lentibulariaceae)*, tesis doctoral, UNAM-Facultad de Ciencias, México DF, 2001.