

El amor entre las plantas: diez mil formas de amarse sin tocarse*

◆
CÉSAR A. DOMÍNGUEZ
LUIS E. EGUIARTE

La sexualidad ha sido objeto de fascinación de la humanidad prácticamente desde su origen, tal como lo atestigua la gran cantidad de expresiones plásticas, literarias y musicales que ha hecho del sexo su fuente de inspiración. Aunque las diferentes expresiones de la sexualidad humana, y de los animales en general, han dado muestras de una gran complejidad, ésta palidece ante la variedad y sutileza de los sistemas de reproducción sexual de las plantas. Fenómenos como la elección de pareja, el adulterio, el aborto y el cuidado materno, que fácilmente asociamos a la reproducción de los animales, encuentran expresiones mucho más sutiles y barrocas en las plantas. Además, para complicar el panorama, las plantas expresan su sexualidad en una variedad ilimitada de formas, que van desde el hermafroditismo hasta la completa separación de los sexos.

Los animales son capaces de buscar activamente a su pareja. Las plantas, en cambio, están destinadas a permanecer durante toda su vida en el lugar en el cual germinaron y por lo tanto son incapaces de mover sus gametos por ellas mismas. Esta situación ha generado una serie de adaptaciones a través de las cuales las plantas han “convencido” a otros organismos, o aprovechado la movilidad del viento o el agua, para transportar sus gametos. Sin embargo, los animales no mueven el polen solamente por razones altruistas, sino que lo hacen porque esto redundará en su propio beneficio. Usualmente los animales visitan a las flores buscando alguna recompensa, que muchas veces toma forma de alimento. Las recompensas más comunes son el néctar y el polen. El néctar es básicamente azúcar diluido en agua, es decir,

algo como un refresco. El polen, en cambio, es rico en aminoácidos y grasas, por lo cual constituye una fuente de alimento muy importante para muchos animales. Además del polen y el néctar, algunas especies ofrecen fragancias —que son utilizadas por los animales para sus propios fines, como la atracción de hembras—, o aceites —que son utilizados como material de construcción o alimento.

También existe todo un grupo de plantas que se dedica a engañar a los polinizadores. Dentro de éstas podemos encontrar aquellas cuyas flores son verdaderas trampas mortales para los visitantes. *Arisaema triphyllum* es una especie que tiene flores masculinas y femeninas tubulares. Cuando un polinizador visita a una flor masculina se mueve a través del tubo, cubriéndose de polen, para después salir por un orificio que se encuentra en la base de la flor. La situación es similar para las flores femeninas; sin embargo, éstas no tienen salida, por lo que el visitante queda atrapado. De esta manera, la planta no sólo no paga los servicios del polinizador, sino que lo recompensa con la muerte. Otras plantas no son tan drásticas en el trato a sus visitantes; por ejemplo, las flores de algunas orquídeas del género *Ophrys* presentan una forma parecida a la de las hembras de sus polinizadores, de tal manera que son visitadas cuando los machos intentan copular con ellas. En este caso, las plantas logran la transferencia de sus gametos manipulando la “lujuria” de las avispas que las visitan.

Como lo ilustra el ejemplo anterior, algunas especies de plantas con flores pueden considerarse como maestras en el arte de engañar. En general este engaño no se debe a ninguna animadversión de las plantas hacia sus polinizadores, sino que es resultado de la evolución por selección natural, en este caso basada en un criterio de eficiencia: “si produzco menos recompensa probablemente podré producir más semillas (hijos)”. Por ejemplo, algunas plantas tienen flores que no producen néctar, pero éstas se parecen a las de otras plantas que sí lo producen, ahorrándose así el costo del néctar. A este fenómeno se le conoce como mimetismo y funciona siempre y cuando las plantas tramposas (las que no producen néctar) se encuentren en proporciones

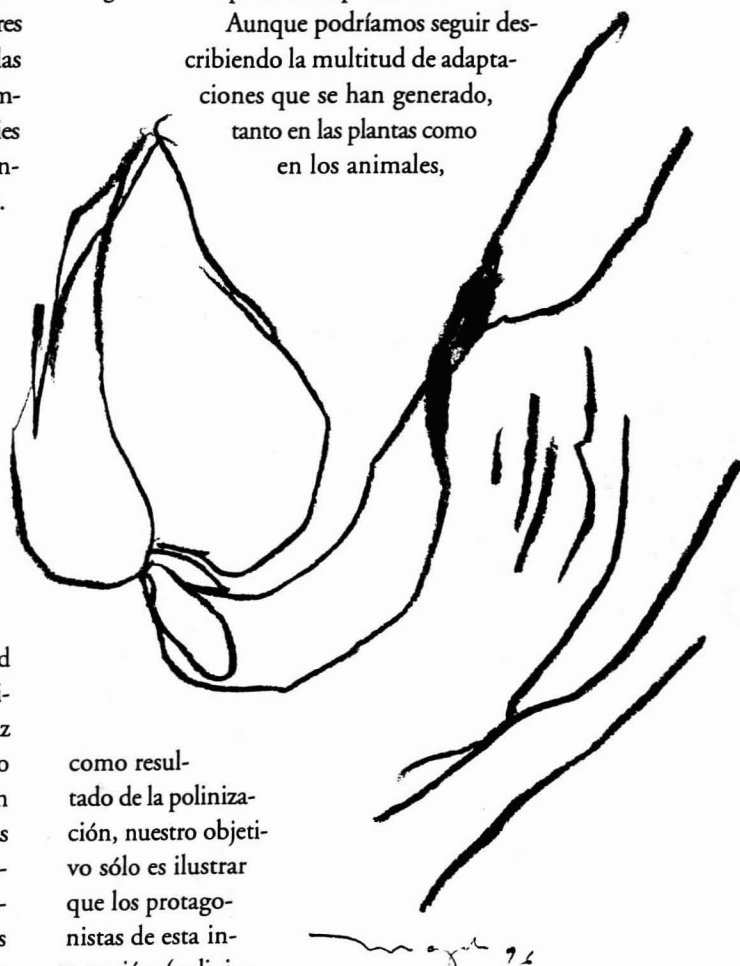
* En este artículo hemos utilizado un lenguaje coloquial que podría sugerir algún tipo de intencionalidad a largo plazo en los actos que realizan los animales o las plantas. Obviamente éste no es nuestro objetivo, sino el de hacer la lectura de este ensayo más amena. Por lo tanto, cuando decimos “las plantas han decidido usar sus recursos...”, en realidad queremos decir: “el efecto de la selección natural en la variación en los patrones de asignación de recursos de las plantas a través de las generaciones ha producido un óptimo que...” Pedimos disculpas anticipadas por cualquier confusión que esto pudiera provocar.

muy bajas respecto a las honestas (las que sí producen néctar). Si en una localidad la proporción de plantas tramposas fuera muy alta, los polinizadores podrían aprender a evitar a los dos tipos (honestas y tramposas). En contraste, si en la misma población prevalecieran las plantas honestas, los polinizadores "sabrían" que tienen una elevada posibilidad de encontrar recompensas, lo que favorece tanto a las tramposas como a las honestas. Muchas orquídeas son polinizadas a través de este mecanismo, lo mismo que las flores del arbolito tropical *Plumeria*. Un engaño aún más sutil ocurre cuando las flores de un sexo copian a las flores del otro sexo en la misma planta. En algunas especies que presentan flores tanto masculinas como femeninas, entre ellas, las begonias y las papayas, las flores masculinas son las únicas que producen recompensas para los polinizadores. Las flores femeninas de estas especies se parecen a las masculinas y por lo tanto engañan a los visitantes que se posan en ellas en busca de algún tipo de recompensa.

La sola producción de recompensas no es suficiente para inducir a los polinizadores a mover los gametos de las plantas, sino que también es necesario que las flores "anuncien" la presencia de estos premios. De hecho, como vimos anteriormente, la selección natural ha llevado a algunas especies a hacer el anuncio sin que exista producción de recompensas (*i.e.*, orquídeas, begonias). A fin de que las plantas sean atractivas para los polinizadores, la evolución ha generado, además de las recompensas, atributos como colores, formas y aromas que incluso a nuestros ojos resultan irresistibles. No obstante, lo que en términos humanos es una bella flor, podría no serlo para algún otro tipo de animal, como por ejemplo una mosca. La variedad de gustos e intereses que se puede encontrar en el mundo animal es enorme; sin embargo, la selección natural ha sido capaz de dirigir la evolución de las flores para darle gusto a casi todo el mundo. Un vistazo rápido nos demostraría que las flores pueden ser polinizadas por animales que van desde las mariposas (diurnas y nocturnas) y las aves (colibríes y aves percheras) hasta los lémures, los murciélagos y los monos, pasando por los escarabajos, las moscas, las avispas, las hormigas y las babosas. Las flores polinizadas por murciélagos, por ejemplo, se abren y producen néctar durante la noche (cuando son activos los murciélagos); presentan colores claros y olores rancios que atraen a estos quirópteros; producen néctar y polen en cantidades muy grandes (para satisfacer las necesidades energéticas de un visitante de ese tamaño), y tienen flores muy resistentes para soportar la breve y poco elegante estancia de los murciélagos (como no pueden revolotear, lo que hacen es chocar con las flores y visitarlas mientras dura el choque). En contraste, las flores polinizadas por colibríes presentan corolas tubulares que permiten visitas sólo de estas aves y excluyen las de otros animales; producen néctar en la mañana, cuando son más activos los colibríes, y usualmente poseen colores rojos, que parecen ser los más atractivos para estos pájaros. Por otra parte, las plantas que aprovechan el viento o el agua como vectores de sus gametos enfrentan otro tipo de problemas. Estas plantas no producen néctar ni tienen formas o colores atractivos (no hay a quién atraer) y sus flores femeninas se encuentran

usualmente separadas de las masculinas, lo que favorece la transferencia de los gametos. Las adaptaciones que comúnmente se observan en tales especies tienen que ver con el diseño aerodinámico o hidrodinámico del polen y con una morfología del estigma (el órgano femenino de las flores) que permita la recepción adecuada de los gametos. También es común que las especies en cuestión produzcan cantidades muy grandes de polen, ya que la polinización abiótica es muy ineficiente pues carece de la direccionalidad que otras especies de plantas logran al manipular a los polinizadores.

Aunque podríamos seguir describiendo la multitud de adaptaciones que se han generado, tanto en las plantas como en los animales,



como resultado de la polinización, nuestro objetivo sólo es ilustrar que los protagonistas de esta interacción (polinizadores y plantas) han desarrollado un conjunto de atributos que les permiten explotarse mutuamente. Estos atributos están tan finamente sintonizados entre los dos grupos de organismos que los científicos no han resistido la tentación de describir lo que se conoce como síndromes de polinización; es decir, los atributos morfológicos o fisiológicos que caracterizan a un conjunto de plantas polinizadas por algún tipo de animal, o bien los atributos que caracterizan a un conjunto de animales que se especializan en explotar a cierto grupo de plantas.

Aunque pareciera que la mayor parte de las especies de plantas con flores ha resuelto el problema de mover sus gametos, ya sea a través de los polinizadores o haciendo uso del viento o el agua, aún le queda otros problemas por resolver. Uno muy importante es la decisión de con quién tener hijos. Nuestra

Magali Lara

experiencia como animales nos sugiere que en este proceso podemos decidir activamente. Las plantas, en contraste, hacen uso de mecanismos menos evidentes. Tomemos por ejemplo el caso de las plantas con flores hermafroditas (75% de todas las angiospermas), o sea, las especies en las cuales los órganos sexuales masculinos (el androceo) y femeninos (el gineceo) están presentes en la misma flor. Se nos podría ocurrir que estas plantas están gastando gran cantidad de energía y recursos en producir flores llamativas, cuando fácilmente podrían ahorrarse estos gastos y molestias si simplemente se les ocurriera autofertilizarse. Curiosamente, aunque tienen esta posibilidad, sólo una pequeña fracción de las plantas con flores se autofertiliza. Esto podría parecer paradójico, ya que, bajo el mismo criterio de eficiencia men-

impedido los apareamientos entre parientes cercanos (hermanos, primos, etcétera) desde los inicios de la civilización. Como es bien sabido, estas cruza producen progenie de menor "calidad"; es decir, individuos que, en promedio, mueren más pronto, son más débiles, más propensos a tener enfermedades y deficiencias mentales y menos fértiles que los hijos resultado de apareamientos entre individuos que no son parientes. Manifestaciones de este fenómeno han sido padecidas por integrantes de la realeza europea y han sido observadas por los criadores de perros y otros animales de interés comercial; también han sido detectadas en muchos grupos de plantas con flores. Por lo tanto, ante la terrible amenaza de la depresión por endogamia, muchas especies vegetales han "preferido" pagar el costo de la polinización cruzada.

Gran cantidad de plantas ha desarrollado mecanismos para evitar la autopolinización y la cruce entre parientes, así como para evaluar la "calidad" y el tipo de polen que reciben sus estigmas. Una de las principales medidas para evitar la autopolinización ha sido la separación de los órganos sexuales, tanto temporal como espacialmente. Las plantas han logrado esta separación recurriendo a varios tipos de soluciones. Algunas especies poseen flores en las que las anteras se encuentran por debajo de los estigmas, con lo que minimizan la probabilidad de autofecundación. Otras plantas, como los magueyes, han optado por la separación temporal; las flores de éstas se comportan como masculinas durante la primera noche de su vida, mientras que en las noches siguientes, cuando la flor ya no tiene polen, se abren los estigmas y las flores se comportan como femeninas. Otra forma obvia para evitar la autopolinización es la separación de los órganos reproductores en flores masculinas y flores femeninas. Dentro de esta opción tenemos una variedad de combinaciones realmente sorprendente. Hay especies cuyos individuos presentan diferentes proporciones de flores masculinas y femeninas; incluso en algunas especies las flores de uno y otro sexo se encuentran en distintas partes del individuo (como los pinos o el maíz). En otros casos las plantas se comportan realmente como machos o hembras, tal como nosotros. También existen muchas situaciones intermedias; hay especies con combinaciones variadas de flores masculinas, femeninas y hermafroditas. En resumen, en las plantas encontramos todas las posibilidades de sexualidad

que se nos puedan, o no, ocurrir. Incluso en algunos casos la sexualidad se expresa de manera críptica. Por ejemplo, los árboles de casahuate (varias especies de *Ipomoea*) tienen flores que aparentemente son perfectas; sin embargo, un análisis detallado mostraría que algunos individuos producen muchos frutos y otros ninguno. Por lo tanto, aunque en apariencia son hermafroditas, los casahuates se comportan efectivamente como machos y hembras.



Felipe Posadas

cionado anteriormente, una planta que se ahorrara los costos de atracción y recompensa podría producir más hijos al gastar toda su energía en producir muchas semillas. Sin embargo, la progenie producida por autofertilización es usualmente menos vigorosa que la que se obtiene a través de la polinización cruzada. Este fenómeno se conoce en la literatura científica como *depresión por endogamia* y sus manifestaciones en el género humano han sido la fuente de gran cantidad de tabúes y reglas morales que han

Para complicar aún más el panorama, existen algunas plantas que cambian de sexo durante el transcurso de su vida. Por ejemplo, muchas orquídeas, o la planta que mencionamos anteriormente, *Arisaema triphyllum*, se comportan como machos cuando son pequeñas y como hembras cuando crecen. Sin embargo, estos cambios pueden ocurrir varias veces en la vida de la planta. Una planta hembra podría comportarse como macho como consecuencia de la pérdida de biomasa (hojas, tallos, raíces) y volver a funcionar nuevamente como hembra una vez que haya alcanzado el tamaño para cambiar de sexo.

Existen otros mecanismos para evitar la endogamia que no pueden detectarse a simple vista. Estos mecanismos se conocen como sistemas de incompatibilidad genética y previenen la producción de hijos entre individuos emparentados. Es decir, son la contraparte natural de los tabúes y reglas morales desarrollados por las sociedades humanas con el mismo fin. En el caso de las plantas, las cruces entre individuos que comparten los mismos genes de autoincompatibilidad no producen semillas. Esto evita tanto la autofertilización como la cruce entre parientes cercanos, ya que existe mayor probabilidad de que se compartan genes con parientes que con individuos que no lo son.

Un buen ejemplo de cómo interactúan la complejidad morfológica y la genética para producir un sistema reproductivo es la heterostilia. Este sistema reproductivo ha sido estudiado desde los tiempos de Charles Darwin, hace ya más de cien años. La heterostilia se caracteriza por la presencia de dos (diestilia) o tres (triestilia) tipos sexuales (morfos) en una población. La principal diferencia entre los morfos radica en la longitud relativa de los estambres (órganos masculinos) y los estilos (órganos femeninos). En el caso de la diestilia, hay plantas con estilos largos y estambres cortos y plantas cuyas flores constituyen la imagen opuesta de las anteriores, es decir, presentan estilos cortos y estambres largos. Lo interesante es que ambos tipos de plantas son hermafroditas y producen polen y semillas, pero sólo se pueden cruzar entre morfos distintos. En otras palabras, el polen de un tipo nunca produce semillas si se aplica en el estigma de una flor de su mismo morfo. La razón de esta esterilidad parcial radica en la presencia de un sistema genético de incompatibilidad que está asociado a las diferencias morfológicas. Tenemos entonces que en las especies diestílicas existen dos tipos sexuales diferentes que son complementarios entre sí, pero ambos con la capacidad de reproducirse por vía femenina y masculina. Aunque la heterostilia podría parecer un sistema muy complicado, e incluso rayando en lo extravagante, se halla presente en gran cantidad de familias de plantas con flores, lo cual sugiere que ha sido un sistema evolutivamente exitoso. Algunas especies heterostílicas importantes para el hombre son la cocaína y el lirio acuático.

Por tradición, las plantas han sido consideradas como entidades pasivas y con baja capacidad de respuesta a su ambiente social. Este juicio superficial se basa principalmente en que las plantas carecen de órganos sensoriales. Sin embargo, las plantas son capaces de sorprendernos de muchas maneras. Posturas y concepciones sobre fenómenos que tradicionalmente se habían entendido como propios del mundo animal han tenido que ampliar sus fronteras para incorporar los nuevos hallazgos de la biología de las plantas, como la selección sexual y los conflictos entre padres e hijos. La idea de la selección sexual fue propuesta inicialmente por Charles Darwin para explicar la evolución de los caracteres sexuales secundarios. Un ejemplo de estos caracteres son las grandes colas de los quetzales.



Gilberto Aceves Navarro

les macho y otras aves; tal característica no sólo no aumenta las posibilidades de sobrevivencia de estos animales sino que incluso podría disminuirlas. Las grandes colas representan un gasto energético muy elevado y en determinado momento podrían dificultar la huida de las aves o hacerlas más conspicuas para los depredadores. Darwin propuso que los caracteres sexuales secundarios afectaban la cantidad y la calidad de los apareamientos de los organismos. Dentro de la selección

sexual se distinguen dos procesos: la competencia entre los machos por el acceso reproductivo a las hembras, y la elección de los machos por parte de las hembras. Existen muchos ejemplos en el mundo animal que ilustran sobre la "guerra" que se desarrolla entre los individuos masculinos por conseguir los favores sexuales de las hembras de su especie; entre ellos, el cortejo de las aves del paraíso, las luchas ritualizadas de los alces o los sangrientos combates por el control del harem entre los leones. También podemos encontrar multitud de ejemplos del otro proceso de la selección sexual; simplemente recordemos que la elección que realizan las hembras de muchas especies de arañas significa la diferencia entre condenar al macho al infierno (se lo comen) o al paraíso (copulan con él). Esta diferencia en la conducta de los machos y las hembras se explica por la desigualdad que existe en la inversión que tiene que hacer cada sexo para tener un hijo. La procreación de un hijo es en general mucho más costosa para las hembras (producción del óvulo, desarrollo del producto y cuidado posnatal) que para los machos (en algunos casos cooperan con un solo espermatozoide). Por esto, la selección natural ha llevado a los machos a elevar al máximo la cantidad de apareamientos, mientras que las hembras lo han hecho respecto a la calidad. Se ha demostrado que las plantas hembra son capaces de elegir entre sus consortes potenciales. Una vez que el polen se deposita en los estigmas, las hembras pueden elegir entre los granos de polen que germinarán, los tubos polínicos que crecerán a través del estilo o bien la célula que fecundará sus óvulos. Por otra parte, la competencia entre machos puede manifestarse a través de la producción de flores muy atractivas o con mucha recompensa, la producción de mayor cantidad de polen o el aumento de la capacidad del polen para germinar y crecer a través de los estilos.

Otros fenómenos relacionados con la reproducción, que también ocurren en las plantas, son la rivalidad entre hermanos y los conflictos de intereses que se establecen entre los padres y sus hijos. *El rey Lear* de Shakespeare es un excelente ejemplo de los conflictos que surgen entre los hermanos por ganar los favores de sus padres. Aunque no existe una obra similar que aborde el caso de las plantas, hay gran cantidad de evidencias de que la vida familiar de estos organismos es igual de conflictiva. Por ejemplo, pensemos en las semillas dentro de un fruto. Dado que el éxito de una semilla para germinar y sobrevivir depende de la cantidad de recursos que invierte su madre en ella, cada semilla tratará de obtener la mayor cantidad de recursos posible, aun a costa de reducir la porción que corresponda a sus hermanos (las otras semillas dentro del fruto). En contraste, el interés de la madre es producir la mayor cantidad posible de hijos, y por lo tanto, tratará de repartir sus recursos por igual entre ellos (las semillas). En este proceso la madre puede abortar las semillas de mala calidad, mientras que cada semilla tratará de convencerla de que ella merece quedarse y que mejor aborte a alguno de sus hermanos. Recientemente se ha sugerido que la complejidad de los tejidos de alimentación y mantenimiento de las semillas, tanto

estructural como genética, ha evolucionado como respuesta a estos conflictos.

Por último, no quisiéramos terminar este ensayo sin referirnos a las enfermedades de transmisión sexual de las plantas. Las enfermedades venéreas, flagelo de la humanidad, también han encontrado espacio en las relaciones sexuales de las plantas. Es paradójico que el éxito evolutivo de las plantas, derivado de su capacidad para manipular a los polinizadores, sea aprovechado por hongos, bacterias y otros agentes patógenos en su propio beneficio y en detrimento del de las plantas. En algunos casos, estas enfermedades son capaces de reemplazar el polen por sus esporas y aprovechar la maquinaria de las flores para atraer a los polinizadores y extender la infección a otras plantas. Éste es un campo de investigación completamente abierto.

El estudio de los sistemas de reproducción sexual de las plantas no sólo es importante para entender la evolución por selección natural y otros procesos evolutivos; su importancia radica también en que puede ser aplicado en los programas de producción de frutos y semillas de las especies de interés comercial o alimentario, así como en los de mejoramiento genético. Asimismo, el estudio de estos sistemas repercutirá en el mejor diseño de las estrategias de conservación de nuestras plantas y de los recursos genéticos presentes en nuestras áreas naturales. ♦

Para saber más

La literatura sobre evolución y sistemas reproductivos en plantas es realmente muy extensa y data de los tiempos de publicación de los escritos, ahora clásicos, de Charles Darwin. No obstante, casi no existe bibliografía en nuestra lengua y algunas obras son difíciles de conseguir en México. De hecho, la única referencia actualizada en español que conocemos es nuestro artículo: Luis E. Eguiarte, César A. Domínguez, J. Núñez-Farfán y C. Cordero, "Biología evolutiva de la reproducción en plantas", en *Revista Ciencias*, núm. especial 6: *Un acercamiento al estudio de las plantas*, 1992, pp. 69-86; las referencias que allí se encuentran (casi todas en inglés o tesis que sólo se hallan en bibliotecas) pueden ser buena guía para iniciar el estudio de la reproducción en plantas. Sobre aspectos de evolución general, una publicación reciente en español es J. Núñez-Farfán y C. Cordero, *Tópicos en biología evolutiva: diversidad y adaptación*, Centro de Ecología, UNAM, 1993, 183 pp. Por otra parte, artículos científicos en español sobre sistemas reproductivos en plantas se pueden encontrar en el *Boletín de la Sociedad Botánica de México*; y en inglés, en revistas científicas como *Evolution*, *Ecology*, *Biotropica*, *Functional Ecology*, *American Journal of Botany*, *Oikos*, *Oecologia* y *Botanical Journal of the Linnean Society*, que se hallan en diversas bibliotecas de las universidades del país.