

ARTÍCULO

LA SEXUALIDAD EN LAS PLANTAS

Cecilia L. Jiménez Sierra
Doctora en Ciencias
Facultad de Ciencias de la UNAM

Loraine Matías Palafox
Universidad Autónoma Metropolitana

La sexualidad en las plantas

Resumen

La persistencia de las especies vegetales en el tiempo, se logra a través del paso de los genes de una generación a otra. Esto se alcanza tanto a través de la propagación asexual como de la reproducción sexual. La primera conduce a la formación de clones con individuos genéticamente idénticos, lo que podría llevar a la reducción de la variabilidad genética poblacional. La reproducción sexual, por su parte, aunque resulta ser costosa para los individuos, permite incrementar la variabilidad dentro de las especies y con ello se favorece su ajuste a los ambientes siempre cambiantes. Esta reproducción requiere de la formación de estructuras especializadas o flores, las cuales estimulan el encuentro de los gametos. En muchas especies, el traslado de los granos de polen se realiza con la ayuda de vectores biológicos, como lo son diversas especies de insectos, aves y murciélagos. La sexualidad en las plantas es muy versátil, y va desde especies con individuos que poseen flores de un solo sexo, hasta especies que poseen flores completas o hermafroditas en cada uno de sus individuos. Este trabajo presenta un acercamiento al interesante mundo de las flores y de las estrategias que en ellas se han desarrollado para favorecer la cruce entre gametos producidos por distintos individuos y evitar la autocruza entre gametos de una misma flor o de flores de un mismo individuo, lo cual podría disminuir tanto la de adecuación individual como la de las poblaciones por problemas relacionados con la endogamia.

Palabras clave: propagación asexual, reproducción sexual, flores, gameto, meiosis, polinización, autoincompatibilidad genética.

Sexuality in plants

Abstract

The continued existence of plants over time is achieved by passing their genes from one generation to the next. In plants this occurs via both asexual propagation and sexual reproduction. The first leads to the formation of clones, i.e. genetically identical individuals, which could lead to a reduction in the genetic variability of the population. Sexual reproduction, though it may be costly for individuals, allows for an increase in genetic variability within the species and as such favors the adaptation of species to their ever changing environments. This type of reproduction requires the formation of specialized structures or flowers which facilitate contact among the gametes. In many species the movement of the pollen grains occurs with the help of different species of insects, birds and bats. Sexuality in plants is very versatile and ranges from species with individuals that possess single-sex flowers to species with complete or hermaphrodite flowers in each of their individuals. This study presents an overview of the fascinating world of flowers and their strategies for favoring crossing among gametes produced by different individuals and for avoiding selfing among the gametes of the same flower or the flowers of the same individual, which could decrease the fitness of both individuals and populations owing to the problems associated with endogamy.

Key words: asexual propagation, sexual reproduction, flowers, gamete, meiosis, pollination, genetic self-incompatibility

Introducción

La persistencia de las especies en el tiempo se logra por un fino ajuste de los organismos a su ambiente abiótico (condiciones y recursos) y biótico (organismos de la misma especie y de otras especies), con lo que consiguen no sólo sobrevivir, sino también perpetuar sus genes, tanto a través de la propagación asexual como de la reproducción sexual. La reproducción asexual se logra cuando se generan nuevos individuos sin la formación de gametos y esto se consigue con la formación de diversas estructuras conocidas como estolones, tubérculos, esquejes o estacas, las cuales cuando se separan del progenitor originan otros individuos. La reproducción sexual, por otra parte, requiere la formación de gametos, en los cuales a través de la meiosis se disminuye a la mitad la cantidad de información genética de los individuos progenitores ($2N$) y de esta manera se forman gametos (N) con un número haploide de cromosomas. Una vez que ocurre la fecundación (unión del gameto masculino y femenino), se forma el cigoto en el cual se restablece el número cromosómico original y se produce un individuo diferente genéticamente a sus progenitores. Este proceso es costoso a nivel del individuo, porque implica que sólo la mitad de su información genética pasará a cada uno de sus descendientes y es riesgosa porque es necesario garantizar que el esfuerzo reproductivo invertido en la formación de gametos sea exitoso, favoreciendo no sólo el encuentro de los cigotos, sino también seleccionando el gameto más adecuado con el cual se compartirá la información genética del descendiente. En las plantas sin capacidad de movilidad, este objetivo parece casi imposible, pero un vistazo al fabuloso mundo de las plantas, sus flores y a la conducta de los visitantes florales, puede ayudarnos a entender cómo los vegetales con flores se las arreglan para lograr no sólo éxito a través de la reproducción sexual, sino seleccionar la cruce más adecuada.

¿A qué llamamos propagación asexual?

Algunas especies de plantas con flores (angiospermas) han desarrollado mecanismos asexuales muy exitosos, en los que células somáticas de un individuo pueden producir otros individuos idénticos al progenitor. Esto sucede, por ejemplo, cuando secciones de un tallo son capaces de enraizar y formar otro organismo independiente. Los individuos así generados son genéticamente idénticos a sus progenitores y de esta manera se constituyen clones, que a veces forman conglomerados de individuos genéticamente idénticos. Este mecanismo de propagación ha evolucionado gracias al arreglo modular de los vegetales. Cada módulo o metámera está constituida por un entrenudo y un nudo del tallo con una yema axilar, la cual contiene células meristemáticas indiferenciadas, capaces de producir nuevas estructuras como raíces, tallos u hojas. La propagación asexual ha sido de especial importancia en vegetales que viven en ambientes extremos y donde se presentan limitaciones ambientales para que la reproducción sexual sea exitosa (climas extremos). Su principal ventaja radica en que es una forma económica de producir descendientes, ya que no se gasta energía ni recursos en la formación de flores y frutos, y presenta la ventaja de que la información genética del progenitor pasa completa a su descendencia, sin pagar el precio de la meiosis o disminución de información genética que se produce cuando se forman gametos (óvulos y polen), que sólo contienen la mitad de la información genética

del progenitor. A través de esta propagación se elimina el problema que representa el rompimiento de combinaciones genéticas exitosas de los progenitores, que han resultado exitosamente en ciertas condiciones ambientales. Sin embargo, este tipo de propagación presenta un costo a largo plazo a nivel poblacional, ya que lleva a una reducción de la variabilidad genética y esto limita las posibilidades de transformaciones en las poblaciones en proceso de seguimiento de los cambios constantes del ambiente (Eguiarte, *et al.*, 1999).

¿Qué es la reproducción sexual y cuáles son sus ventajas y desventajas?

La reproducción sexual, por su parte, puede considerarse como un fenómeno costoso, ya que además de presentar costos meiosis, en los que cada hijo no recibe más que la mitad de los genes de cada progenitor, requiere de la inversión de recursos del presupuesto, no sólo para la formación de gametos (femeninos y masculinos), sino también de otras estructuras que aseguran el éxito reproductivo, como lo son la formación de flores con estructuras como sépalos, pétalos, estambres y sustancias atrayentes para los polinizadores. Además, una vez que se logra la fecundación del gameto femenino (óvulo), se requiere de recursos y energía destinada a consolidar la maduración de éste con el embrión y las sustancias que lo nutrirán después de la germinación. Adicionalmente, se requiere de la asignación de energía y recursos destinados a la formación de frutos maduros y apetecibles, destinados a ser manjar de los animales que funcionarán como consumidores de la pulpa de los frutos y, al mismo tiempo, como dispersores de las semillas.

A pesar de estos costos, la reproducción sexual presenta grandes ventajas a nivel poblacional, ya que con ella se incrementa la velocidad de adaptación o ajuste de las poblaciones a los cambios ambientales (Maynard-Smith, 1978); se evita que las mutaciones somáticas desfavorables acumuladas en diversos tejidos de las plantas pasen a la siguiente generación, ya que sólo la información genética contenida en los gametos pasa de una a otra generación (Muller, 1964 y Richards, 1986), y se logra optimizar el uso de los ambientes heterogéneos e impredecibles (Bell, 1982 y Williams, 1975).

¿Por qué las plantas producen flores?

Las flores, que entre los humanos despiertan gran admiración por su belleza, diversidad de colorido y formas, son los órganos vegetales especializados en la reproducción sexual de las angiospermas. En estos órganos se desarrollan los óvulos (gametos femeninos) y los granos de polen (que contienen los gametos masculinos). Su forma y colorido parecen haber evolucionado para garantizar el encuentro del gameto masculino y el femenino dentro de una misma especie, y propiciar así la fecundación que lleva a la formación de semillas que darán origen a los nuevos individuos. Debido a la incapacidad de movimiento, los vegetales requieren de vectores particulares para la transferencia de los gametos masculinos, desde las anteras hasta el estigma de las flores de otros individuos de la misma especie (Barret y Shore, 1987). A través del uso de diversos vectores abióticos como el viento o el agua, o bióticos como la visita de insectos, aves y murciélagos, se promueve la fecundación cruzada entre individuos

de una misma especie y se evita la autocruza, la cual podría llevar a la depresión por endogamia, ya que alelos deletéreos (los cuales existen en todos los individuos) se manifestarían en los individuos homócigos y disminuiría tanto la adecuación (éxito relativo) individual como la de la población, como sucede en las poblaciones pequeñas de animales por efectos relacionados con la consanguinidad.

¿Cómo se encuentra el sexo distribuido en las plantas?

Entre las plantas existe una gran diversidad de formas, en relación a la manera como se presentan los sexos dentro de los individuos, así como entre los individuos de una misma especie. Encontramos, por ejemplo, especies en las que los sexos están separados y entonces algunos individuos son del sexo femenino (sólo contienen flores femeninas) y otros son del sexo masculino (los cuales contienen sólo flores masculinas). Entonces se dice que la especie es dióica (dos casas), de tal manera que si esto se ajustara a la especie humana, diríamos que ésta es dióica. Por otro lado, hay especies cuyas flores contienen ambos sexos, es decir que presentan flores hermafroditas y en estos casos se dice que la especie es monoica (una casa) o sea que en un individuo se presentan los dos sexos. La parte femenina de la flor (gineceo) está constituida por el ovario que contiene los óvulos, el estilo y el estigma, que es la parte distal del estilo donde se depositaran los granos de polen y desde donde estos viajarán por el interior del estilo formando un canal o tubo polínico hasta alcanzar los óvulos y fecundarlos. Los óvulos una vez que son fecundados se transformarán en semillas y el ovario se transformará en fruto. La parte masculina de la flor (androceo) está formada por los estambres, que generalmente se encuentran en la periferia del gineceo. Cada estambre está constituido por un filamento que en su parte distal contiene las anteras, en las cuales se forman los granos de polen. Las estructuras más conspicuas de las flores son el cáliz, que está formado por sépalos y que forma la cubierta más externa de la flor y que generalmente es de color verde, y la corola, que está conformada por pétalos de diversas formas y colores. Además, es posible encontrar en la base interna de la flor una cavidad donde se almacena el néctar, el cual está constituido por azúcares que actúan como recompensas y atrayentes para los visitantes florales.

¿Cómo logra el polen alcanzar los gametos femeninos de otras flores?

El reto de la reproducción sexual es lograr que los granos de polen alcancen el gineceo de las flores de otros individuos de la misma especie, evitando una autofecundación y los problemas antes mencionados. En algunas especies, con flores pequeñas y poco llamativas, como en diversas especies de pastos cuyas flores son conocidas como "patas de gallo", la dispersión del polen se lleva a cabo por el aire. Este tipo de dispersión es muy azarosa, por lo cual se requiere que las flores produzcan grandes cantidades de polen, ya que muchos granos de éste no alcanzarán el destino adecuado. Esto ha llevado a la evolución de mecanismos de interacción entre las plantas y los animales, con el fin de incrementar las probabilidades de un transporte adecuado de los gametos masculinos, a cambio de que éstos obtengan ciertas recompensas, como son la obtención de polen y néctar. Podríamos viajar a través del tiempo evolutivo, partiendo de la visita de herbívoros a las plantas en busca

de alimento. Las plantas podrían haber desarrollado paquetes atractivos (néctar o polen) y señales llamativas (colores y aromas) para que los herbívoros las frecuenten, asegurando de esta forma que ciertos visitantes florales actúen como vectores del polen. Los polinizadores fijarían determinadas imágenes de búsqueda (flores de cierto colorido, tamaño o aroma) y se dedicarían a buscar otras similares, con lo cual se garantizaría el intercambio de polen entre individuos específicos. De esta forma, ahora encontramos interesantísimas relaciones entre flores con características específicas, conocidas como síndromes, que atraen a un gremio o conjunto determinado de animales, los cuales actúan como sus polinizadores. Por ejemplo, las flores grandes, nocturnas, blanquecinas y con olores llamativos como las flores de la mayoría de las cactáceas columnares (órganos y viejitos) de nuestro país, son denominadas flores quireptofílicas, ya que son frecuentadas especialmente por murciélagos (quirópteros), que buscan néctar (nectarívoros) o polen (polinívoros). Al acercarse a las flores, sus rostros quedan bañados de polen, que es transportado a otras flores de las mismas especies. Otras plantas como las margaritas, por ejemplo, presentan flores diurnas, con forma de tazón extendido, de pequeño tamaño y con diversas coloraciones (amarillas, blancas, rosadas), las cuales se dice que son flores melitófilas (amigas de las abejas) y son visitadas principalmente por abejas tanto solitarias como coloniales (como la abeja de la miel).

¿Por qué es importante la sincronización en la floración entre los individuos de una especie?

Un mecanismo importante para propiciar el intercambio de material genético entre individuos de la misma especie vegetal, se logra por la sincronización de la época de floración entre los individuos de una misma especie, al mismo tiempo que se presenta un desfase con otras especies que viven en el mismo sitio. Esto explicaría, por ejemplo, la gran sincronía en la floración de las jacarandas durante los meses de abril y mayo, o de las Nochebuenas durante los meses invernales. El desfase en la floración entre especies que cohabitan en una misma región, permite brindar recursos constantes a los polinizadores a lo largo del año, los que irán variando su dieta a lo largo del año, entre los recursos que les ofrecen las distintas especies presentes en un sitio.

¿Cómo evitan las flores la autocruza y los problemas que con ella se generan?
Cerca del 96% de las especies de angiospermas, presentan flores hermafroditas (con androceo y gineceo). Además de los sistemas para asegurar la visita de los polinizadores, muchas de estas especies han desarrollado algunos mecanismos tendientes a evitar la autofecundación y promover la entrecruza (Darwin, 1876). Entre éstos están la separación espacial entre el gineceo y el androceo de una misma flor (esta característica es conocida como heterostilia) y puede lograrse cuando las flores producen estilos largos y estambres cortos o viceversa, de tal manera que el contacto accidental entre los órganos femeninos y masculinos de una misma flor se reduzca y con ello las posibilidades de autofecundación. En otras especies vegetales se presentan flores que, aunque son perfectas, funcionalmente primero se manifiesta un sexo y posteriormente el otro. Por ejemplo, las flores de algunos agaves el primer día pueden funcionar como flores masculinas donadoras de polen y al siguiente día funcionan como flores femeninas, ya que presentan el estigma receptivo a la llegada de granos de

polen.

También se han descubierto mecanismos a nivel genético que previenen la fecundación entre individuos que poseen una información genética similar. Esto se logra por la presencia de genes autoincompatibles, o "alelos S", los cuales evitan la fecundación entre organismos que poseen el mismo tipo de ellos (Hedrick, 1983). Los sistemas de autoincompatibilidad se han clasificado como de tipo esporofítico o gametofítico, dependiendo si el rechazo se da a nivel de los tejidos paterno-materno (esporofítico) o del tejido materno-gameto masculino (gametofítico) (Franklin-Tong y Franklin, 2003; De Nettancourt, 1997). El objetivo final de estos mecanismos es evitar la autofecundación mediante el rechazo de los granos de polen procedente de la misma flor (autogamia) o de las flores de la misma planta (geitonogamia), e influye directamente en el sistema de cruce de los individuos y también determina en gran medida la estructura genética (variabilidad genética) de las poblaciones. (Dafni, 1992; Faegri y van der Pijl, 1979; Schemske, 1983; Waser, 1986).

Visitantes florales: jugando entre ser un depredador o un polinizador

Por otro lado, desde el punto de vista de los visitantes florales, es importante reconocer que se presenta un continuo por sus conductas, que va desde la depredación verdadera de las flores, cuando éstos se alimentan de pétalos, estambres o estigmas, destruyendo parcial o completamente las flores, hasta el robo de recursos florales, cuando se presenta el consumo de polen o néctar sin propiciar la polinización, hasta la verdadera polinización, cuando los visitantes obtienen un recurso (polen o néctar), pero favorecen al mismo tiempo, tanto por su conducta como por su anatomía, el adecuado transporte del polen desde las anteras de una flor hasta el estigma de otra flor específica (Irwin et al., 2001). Entonces, un aspecto interesante de la conducta de los polinizadores es la "constancia o fidelidad", en relación a la búsqueda y la visita de flores de una misma especie. Desde el punto de vista de las flores, convendría que sus polinizadores fueran especialistas. Sin embargo, desde el punto de vista del polinizador, ser especialista representa un riesgo, ya que se requiere que el recurso sea constante a lo largo de su ciclo de vida (Waser, 1986). Los polinizadores generalistas, de acuerdo con la teoría del forrajeo óptimo, fijarán su imagen de búsqueda en los recursos que eventualmente sean más abundantes, cambiando su imagen de un recurso a otro en relación a su abundancia relativa, lo que los llevaría a obtener el beneficio máximo de los recursos existentes (Mac Arthur y Pianka, 1966). El movimiento y distancia de desplazamiento de los polinizadores es esencial, para favorecer el adecuado desplazamiento y que se alcance un entrecruzamiento óptimo (Levin y Kerster, 1974; Waser, 1978). En las especie vegetales tiende a presentarse una distancia óptima de entrecruzamiento (en sentido genético y espacial), en la cual se maximiza la producción de semillas y la viabilidad de plántulas. Esta distancia está determinada por el fenómeno de depresión por entrecruzamiento entre genotipos muy disímiles (generalmente muy distantes espacialmente), por un lado, y, por el otro, por el fenómeno de depresión por endogamia debida a autocruza (Moll et al. 1965; Waser and Price 1983; Campbell y Waser, 1987).

Conclusiones

Las plantas con flores han colonizado prácticamente todos los ambientes. Esto lo han

conseguido tanto a través de la propagación asexual, como de la reproducción sexual. Ambas estrategias están presentes en muchas de las especies y ambas tienen ventajas y desventajas. La propagación asexual es barata y segura, pero lleva el riesgo de la pérdida de variabilidad genética dentro de las poblaciones. La reproducción sexual, por su parte, lleva a un incremento en la variabilidad dentro de las poblaciones y a un incremento en las posibilidades de ajustes de las especies vegetales a su ambiente. Sin embargo, ha requerido de finos mecanismos de evolución, en que los tiempos de floración de los individuos de una especie requieren de cierta sincronización, al igual que se ha requerido de un ajuste entre la anatomía y la morfología de las flores y de sus visitantes, los cuales juegan un papel determinado entre el continuo que va desde la voraz depredación de flores hasta un selectivo consumo de un recurso (polen o néctar), propiciando el traslado de polen. Diversos mecanismos de evolución han permitido que los polinizadores y las plantas obtengan un beneficio de esta interacción. Las plantas, por su parte, logran éxito en la fecundación de los óvulos, los cuales se transforman en semillas que representan la promesa de nuevos individuos, con lo que se favorece la persistencia de los recursos para los herbívoros. Sería interesante que de ahora en adelante, cuando encuentres un pequeño insecto volador (abeja, mosca o palomilla) cerca de ti, pienses en su función entre la gran diversidad de plantas y flores que tanto admiramos, antes de desaparecerlo del mapa con un simple manotazo.

Bibliografía

- Barret, S.C. y J.S. Shore. 1987. Variation and evolution of breeding systems in the *Turnera ulmifolia* L. complex (Turneraceae). *Evolution* 41:340-354
- Bell, G. 1982. *The Masterpiece of Nature: the Evolution and Genetics of Sexuality*. Croom Helm, London; University of California Press, Berkeley.
- Campbell, D.R. and N.M. Waser. 1987. The evolution of plant mating systems: multilocus simulations of pollen dispersal. *American Naturalist* 129: 593-609.
- Dafni A. 1992. *Pollination ecology*. Oxford University Press, Oxford.
- Darwin C. 1876. *The effects of cross and self-fertilization in the vegetable kingdom*. Adamant Media. Boston.
- De Nettancourt D. 1997. Incompatibility in Angiosperms. *Sex Plant Reproduction* 10:185–199 733.
- Eguiarte L. E., J. Nuñez-Farfán, C. Domínguez y C. Cordero. 1999. Biología evolutiva de la Reproducción de las plantas. En Nuñez-Farfán, J. y L. E. Eguiarte (Comp): La Evolución Biológica. *Ciencias revista de difusión de la Facultad de Ciencias*, Instituto de Ecología, UNAM y CONABIO. México, D.F.
- Faegri, K. y L., Van der Pijil. 1979. *The principles of pollination ecology*. 3d rev. ed. Pergamon, Oxford.
- Franklin-Tong N. y F. C. Franklin. 2003. Gametophytic self-incompatibility inhibits pollen tube growth using different mechanisms. *Trends in Plant Science* 8: 598-605.
- Hedrick, P. W. 1983. *Genetics of Populations*. Science Books International. Boston.
- Irwin, R.E., A.K. Brody y N.M. Waser. 2001 The impact of floral larceny on individuals, populations and communities. *Oecologia* 129:161-168.

- Levin, D.A. y H.W. Kerster. 1974. Gene flow in seed plants. *Evolution Biology* 7:139-220.
- MacArthur R. H. y E. R. Pianka. 1966. On optimal use of a patchy environment. *American Naturalist* 100:603-609.
- Maynard-Smith. J. 1978. *The Evolution of Sex*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Moll, R. H., J. H. Lonquist, J. Vélez F. y E. C. Johnson. 1965. The relationship of heterosis and genetic divergence in maize. *Genetics* 52:139-144.
- Muller, H.J. 1964. The relation of recombination to mutational advance. *Mutat. Res.* 1:2-9
- Richards A. J. 1986. *Plant Breeding Systems*. G.Allen & UNWIN, Boston.
- Schemske, D. W. 1983. *Limits to specialization and coevolution in plant-animal mutualism*. Pages 67-109 in M. H. Nitecki, ed. *Coevolution*. University of Chicago Press, Chicago.
- Waser, N. M. 1986. Flower constancy: Definition, cause and measurement. *American Naturalist* 127:593-603
- Waser N.M. 1978. Competition for pollination and sequential flowering in two Colorado wildflowers. *Ecology* 59:934- 944.
- Waser, N.M. and M.V. Price. 1983. Optimal and actual outcrossing in plants, and the nature of plant-pollinator interaction. In: Jones CE, Little RJ (eds) *Handbook of experimental pollination biology*. Van Nostrand Reinhold, New York, pp 341-359
- Williams CS. 1975. *Sex and evolution*. Princeton University Press. Princeton. New Jersey.

