



Dos sexos ¿para qué?: Aspectos celulares, genéticos y agronómicos de la reproducción asexual de las plantas

José María Seguí Simarro



Biografía. Es Profesor de la Universidad Politécnica de Valencia. Licenciado en Biología en la Universidad de Valencia, se doctoró en Ciencias Biológicas por la Universidad Complutense de Madrid. Tras tres años como investigador en la Universidad de Colorado (EEUU), regresó a España como investigador del programa “Ramón y Cajal” adscrito a la Universidad Politécnica de Valencia, en la que actualmente es Profesor del Departamento de Biotecnología (Escuela de Ingenieros Agrónomos). En su laboratorio desarrolla varias líneas de investigación dentro del campo de la Biología Celular vegetal, entre ellas el estudio y aplicación de la androgénesis en cultivos de interés agronómico.

Resumen. En estos últimos años la ciencia genética está desarrollándose a un ritmo vertiginoso. Generalmente oímos noticias que se refieren a descubrimientos o avances relacionados con el desciframiento del código genético de cierta especie, la clonación de un individuo (recordemos el famoso episodio de la oveja Dolly), o el estudio de algún gen concreto como intento paliativo de alguna enfermedad. Y hablar de genética es hablar de sexualidad. Todos sabemos que los caracteres genéticos son hereditarios, y se heredan de ambos progenitores, de sexos femenino y masculino. Nuestra sociedad está plenamente sexuada; no tenemos nada más que ver la publicidad que nos rodea, los medios de comunicación o simplemente nuestra propia vida. O somos hombres o somos mujeres, no nos queda otra opción. Desde el punto de vista biológico, todos tenemos un papá (masculino) y una mamá (femenina), de los cuales descendemos. Es por ello que vivir dentro de este entorno sexuado lo vemos como algo normal, natural. No nos planteamos que se pueda procrear por uno mismo, sin necesidad del otro sexo. Sin embargo, no toda la vida sobre el planeta Tierra se configura dentro de los mismos parámetros. Existen “otros mundos” dentro de este nuestro, cuya realidad en ocasiones difiere bastante a la que nosotros conocemos; la vía asexual. En este ensayo vamos a descubrir diferentes mecanismos que son empleados por una amplia gama de organismos (en particular las plantas) para conseguir el mismo fin: la reproducción.

Summary. In recent years, genetic science has developed at breakneck pace. It is common to hear news stories about scientific discoveries or advances that have deciphered the genetic code of specific species, the cloning of an individual (remember the famous episode of Dolly the sheep) or the study of a specific gene in an attempt to palliate a given disease. Genetics is intrinsically linked to sexuality. We all know that genetic characteristics are hereditary and inherited from both parents, from the feminine and masculine sexes. Our society is fully sexed. Just look at the advertising around us, the media or our own lives. We are either men or women, there is no other option. Biologically speaking, we all have a father (masculine) and a mother (feminine), from whom we descend. Therefore, we treat living in this sexed environment as something normal and natural. We do not consider that we can procreate on our own, without the need for the other sex. However, not all life on Earth is configured within the same parameters. There are “other worlds” in our world, whose reality sometimes differs substantially from the reality we know: the asexual world. This essay examines different mechanisms that are used by many different organisms (mainly plants) for the same purpose: reproduction.

Résumé. Pendant les dernières années la science génétique se développe à un rythme vertigineux. On entend souvent des nouvelles référentes à des découvertes ou des progrès en rapport avec le déchiffrement du code génétique d’une certaine espèce, le clonage d’un individu (souvenons-nous du célèbre épisode de la brebis Dolly), ou l’étude d’un gène concret comme tentative palliative d’une maladie. Et parler de Génétique, c’est parler de sexualité. Nous connaissons tous que les caractères génétiques sont héréditaires et ils sont hérités des deux géniteurs, du sexe féminin et masculin. Notre société est pleinement «sexuée»; il suffit de voir la publicité qui nous entoure, les moyens de communication ou tout simplement notre propre vie. Nous sommes ou des hommes ou des femmes, il ne nous reste aucun autre choix. Du point de vue biologique, nous avons tous un papa (masculin) et une maman (féminin), dont nous descendons. C’est pour cela que vivre dans cet environnement sexué nous semble quelque chose de normal et de naturel. Nous ne nous envisageons pas d’être capables de procréer tous seuls, sans avoir besoin de l’autre sexe. Pourtant, toute la vie sur la planète Terre n’est pas configurée dans les mêmes paramètres. Il existe d’«autres mondes» dans le nôtre, dont la réalité diffère parfois assez de celle que nous connaissons : la voie asexuée. Dans cet essai, on va découvrir de différents mécanismes utilisés par une vaste gamme d’organismes (principalement végétaux) pour atteindre le même but: la reproduction.



Los seres humanos tenemos muy asumido que la sexualidad es cosa de dos. En términos reproductivos, para crear una nueva vida es imprescindible la aportación de dos progenitores, uno de sexo masculino y otro de sexo femenino. Aunque la ciencia avanza que es una barbaridad, nadie se imagina (de momento) una mujer embarazada sin, al menos, un poquito de inseminación artificial con espermatozoides masculinos, y mucho menos aún un hombre capaz de generar él solito un embrión.

Sin embargo, esto no es siempre así en la naturaleza. Existen muchas especies, tanto de animales como de plantas, que son capaces de reproducirse sin que sea necesaria la fecundación de un gameto (célula reproductora) femenino por parte de otro masculino para formar un embrión. Es bastante conocido el caso de la estrella de mar, a la que si le separamos una pata, el cuerpo restante regenera la pata que le falta, y la pata separada es capaz de regenerar otro individuo completo. A partir de uno, obtenemos dos. Quizá menos conocido, pero igual de espectacular, puede ser el ejemplo de la hidra, animal marino que, si lo troceamos, es capaz de regenerar un individuo completo de cada uno de los fragmentos. A partir de uno, obtenemos muchos. Esta reproducción, denominada asexual por no tener necesidad de la existencia de sexos diferenciados, parece ser un carácter que se pierde a lo largo de la evolución, a medida que los organismos se van haciendo más y más complejos. De hecho, no se conocen casos en vertebrados, y mucho menos en mamíferos. Por esta misma razón, cabe pensar que si descendemos en la escala evolutiva, la frecuencia de casos de reproducción asexual será mayor. Y así es, hasta el punto de que las bacterias se reproducen sencillamente partiéndose en dos por la mitad.

Pero entre medio del enorme trecho evolutivo que hay entre bacterias y mamíferos está el reino de las plantas, esas cosas verdes y estáticas, siempre tan vistosas y a menudo tan poco observadas. En el reino vegetal es donde se pueden encontrar los mayores y mejores ejemplos de reproducción asexual. ¿Quién no tiene una madre, tía o abuela que corta un trozo (esqueje) de ese geranio tan bonito del balcón y te lo da para que lo pongas en tu casa? Tan solo con ponerlo en un tiesto, con las condiciones adecuadas, en poco tiempo tendremos un geranio tan bonito como el de nuestra madre, tía o abuela. Y todo gracias a la capacidad de reproducirse asexualmente de la que todas las especies vegetales, en mayor o menor medida, hacen gala. Desde hace siglos los agricultores saben que las plantas pueden multiplicarse sin sexo por medio de esquejes, bulbos, tubérculos, hijuelos, acodos, injertos...

Esta capacidad de las plantas para reproducirse asexualmente tiene su base en un concepto biológico que en los últimos años se ha puesto muy de moda: la totipotencia celular. Dicho así, posiblemente no sepas de qué concepto se trata. Pero si hablamos de células madre, puede que ya te suene un poco más, ¿no? El potencial de las células madre se basa en su capacidad para permanecer en un estado indiferenciado, es decir, sin ningún tipo de especialización concreta, siendo a su vez capaces de diferenciarse para adquirir cualquier función específica que se requiera. Ese es precisamente el concepto de totipotencia: la potencialidad de una célula para especializarse en virtualmente cualquier tipo celular de un organismo. Una célula totipotente sería como un libro en blanco. En función de quien lo escriba podrá acabar como un libro de poemas, un libro de texto, una novela, un cómic o un libro de ensayos como éste. Las células de los embriones en sus

estadios más inmaduros son altamente totipotentes, pues ellas han de dar lugar a todos los tipos celulares de cualquier tejido u órgano de un individuo.

Pues bien, la reproducción asexual está relacionada con la capacidad totipotente, que como ya hemos visto, disminuye cuanto más evolucionado (complejo) es el organismo. Los humanos adultos tenemos muy pocas células madre. En cambio, las plantas adultas tienen la enorme ventaja de que cualquiera de sus células, aunque ya esté diferenciada para ser parte de una hoja, raíz o tallo, es capaz de revertir el proceso de diferenciación original y volver a un estado «embrionario», totipotente, si se dan las condiciones adecuadas. Así, cuando nuestra madre nos corta un esqueje de una ramificación de su geranio y nosotros lo plantamos, en las células próximas a la herida se dispara una respuesta fisiológica que hace que esas células dejen de ser «células de rama» y se desdiferencien, para después convertirse en «células formadoras de raíz», que es justo lo que necesita el esqueje para agarrarse al sustrato, incorporar agua y nutrientes y convertirse en una nueva planta completa e independiente.

En un laboratorio, mediante técnicas biotecnológicas de cultivo *in vitro*, es posible ir mucho más allá en la explotación de la totipotencia celular vegetal. En lugar de un esqueje, es posible separar del geranio de nuestra madre un pequeño fragmento de hoja de unas pocas células e inducir las a que se desdiferencien, a que pasen a ser «células madre vegetales». Estas células madre vegetales forman una estructura amorfa denominada callo, que puede permanecer un tiempo proliferando, dividiéndose de forma indiferenciada, antes de diferenciarse y formar directamente otra planta completa mediante la regeneración de todos y cada uno de sus órganos. También puede dar lugar a la planta indirectamente, a través de la formación de un embrión asexual, denominado somático, que crecerá, madurará y germinará como los embriones normales, pero sobre el callo. En realidad, no solo se puede obtener una planta por callo, sino muchas. Las células del callo pueden diferenciarse a órganos o embriones en múltiples regiones diferentes a la vez, permitiendo obtener multitud de plantas de tan solo unas pocas células originales y en poco tiempo. De cualquier modo, obtendremos clones somáticos del geranio original, reproducido de modo asexual.

La reproducción asexual de las plantas, además de permitir distintas maneras de clonar el geranio de nuestra madre, tiene un enorme impacto en la agricultura, o lo que es lo mismo, en el modo en que el hombre se sirve del reino vegetal para su propio beneficio. Por ejemplo, sirve para que podamos comer siempre el mismo tipo de naranjas. Si cruzáramos (por reproducción sexual) dos naranjos de frutos muy sabrosos nunca tendríamos la garantía de tener descendientes con frutos igual de sabrosos, del mismo modo que de un hombre y una mujer, ambos de ojos negros, no siempre nacen hijos de ojos negros. Son las cosas de la genética. En cambio, si propagamos nuestro naranjo de forma asexual, generaremos nuevos naranjos genéticamente idénticos al parental, con lo que el carácter «fruto sabroso» se mantendrá a través de generaciones. Esta es la base para la reproducción de muchas especies vegetales de interés agronómico que, además de permitirnos perpetuar los caracteres de interés a lo largo de generaciones y evitar que se diluyan en la descendencia, resultan a menudo mucho más baratas de reproducir por vía vegetativa (asexual) que por vía sexual. Por ejemplo, el cultivo de la patata desde hace

siglos se basa en trocear patatas de modo que en cada trozo haya un pequeño brote (yema) y en sembrar los trozos para que cada uno regenere una nueva mata.

Pero las plantas aún nos deparan más sorpresas en cuanto a su capacidad de reproducirse sin necesidad de fecundación. ¿Alguien se imagina que de un espermatozoide solo, un hombre fuera capaz de engendrar su propio hijo, sin necesidad de yacer con mujer alguna? Pues las plantas pueden. Existe un fenómeno, denominado androgénesis, por el cual un grano de polen puede ser desviado de su programa de desarrollo original, que es la formación de los gametos masculinos, y ser reprogramado hacia la formación de un embrión, que en su momento germinará y dará lugar a una nueva planta, proveniente exclusivamente del polen del padre. Este fenómeno de la androgénesis sucede en el polen cuando todavía se encuentra almacenado en la antera, el órgano sexual masculino de la flor. Hace casi 40 años, unos investigadores descubrieron que este extraño fenómeno sucedía en una planta, *Datura innoxia*, cuando se extraían las anteras de la flor y se cultivaban *in vitro*. De una sola antera, podían salir varias plantas. Y si en lugar de cultivar las anteras, se extraía el polen que contienen y se cultivaba directamente, en lugar de unas pocas, se podían obtener cientos de plantas de una sola antera. Pronto estos y muchos otros investigadores se dieron cuenta del enorme potencial que presentaba este fenómeno, como ahora veremos.

Las empresas que se dedican a producir semillas para vender a los agricultores se basan en la producción de semilla híbrida, es decir, proveniente de un cruce (sexual) entre dos parentales distintos y genéticamente estables para todos sus caracteres, denominados líneas puras. De este modo, todas las semillas de primera generación producidas al cruzar las dos líneas puras van a ser genéticamente idénticas, van a tener las mismas características, incluyendo las que le interesan al agricultor. Así el agricultor se asegura que toda su producción será uniforme en cuanto a calidad, tamaño, producción, etc. Pero cuidado, si el agricultor decide obtener sus propias semillas, provenientes de su cultivo de primera generación, para sembrarlas y obtener un cultivo de segunda generación, se encontrará con la desagradable sorpresa de que en la segunda generación aparecerá una enorme e indeseable variabilidad: frutos grandes y muy pequeños, mayor y menor coloración, mejor y peor sabor, plantas muy productivas y otras muy poco, cultivos más y menos resistentes a una determinada plaga, etc. En fin, un desastre. De nuevo, las cosas de la genética. Esta es la manera que tiene el productor de semillas de asegurarse de que al año siguiente el agricultor volverá a comprarle más semilla, pues solo él tiene las líneas puras capaces de dar semilla 100% uniforme en todos sus caracteres. En definitiva, el sistema actual de producción comercial de semilla híbrida se basa en la obtención previa de líneas puras. Todo esto está muy bien, pero ¿qué tiene que ver toda esta historia con la androgénesis?

Las líneas puras se han venido obteniendo tradicionalmente mediante la fecundación de una planta por sí misma (sí, querido lector, las plantas pueden) una y otra vez, con muchas plantas a lo largo de muchas generaciones. Esto le supone al productor una enorme inversión en tiempo (años), extensiones de cultivo y recursos económicos que luego traslada al precio final de la semilla, encareciéndola notablemente. Pero desde que se descubrió la androgénesis, es posible obtener la misma línea pura en tan solo una generación: extraes el polen de la planta donante, lo induces a formar un embrión que regenera

una planta androgénica, duplicas su genoma haploide si no lo hace ella espontáneamente y ya está. No voy a explicar el complicado fundamento genético que hay detrás de este fenómeno, pero el hecho, a efectos prácticos, es que esta planta androgénica (doble haploide), obtenida en tan solo una generación (pocos meses), es tan genéticamente uniforme, o más, que las líneas puras obtenidas por métodos tradicionales. Es, pues, una forma rápida y barata de obtener líneas puras. Como se puede deducir, si el productor de semillas decide obtener sus líneas puras mediante androgénesis, el ahorro económico va a ser considerable. Además, el fenómeno de la androgénesis presenta otras ventajas desde el punto de vista experimental, como sistema modelo que permite el estudio de otros aspectos de la biología vegetal que hasta ahora habían sido muy difíciles, sino imposibles de estudiar. Esto ha hecho que en los últimos diez años el estudio y la aplicación práctica de la androgénesis a la mejora genética de especies vegetales se hayan disparado en todo el mundo.

Y no sólo existe la androgénesis, sino también la ginogénesis, que sería la versión femenina de la androgénesis. Es decir, inducir embriogénesis directa a partir de células sexuales femeninas en lugar de masculinas. Esta alternativa está menos estudiada y se utiliza mucho menos, pues el número de células sexuales femeninas es mucho menor que el de masculinas, y tienen más difícil acceso a los tratamientos experimentales. No compensa. Por ello, la ginogénesis sólo se utiliza en aquellas especies en las que la androgénesis o no funciona o funciona poco. Además, en la naturaleza se dan también otros fenómenos que dan como resultado la formación de embriones «femeninos» por vía asexual, como la apomixis, en la que se forma un embrión dentro de la semilla, pero procedente de células no gaméticas, es decir, de células que no son las propiamente sexuales femeninas. Y, por supuesto, sin fecundación ni aportación masculina alguna. Obtendremos embrión y semilla, pero la planta resultante será un clon de la madre pues proviene exclusivamente de una de sus células.

Después de ver tantas opciones para que una planta se reproduzca asexualmente, cabe preguntarse ¿por qué entonces las plantas, tras millones de años de evolución, siguen manteniendo mecanismos de reproducción sexual? La respuesta es bien sencilla: porque cuanto más, mejor. Cuantas más opciones reproductivas haya, más vías hay para perpetuarse a corto y largo plazo, resistir al cambio de las condiciones en tu hábitat o colonizar nuevos hábitats con nuevas condiciones ambientales. Así, las vías asexuales suelen ser más rápidas que las sexuales, de modo que son útiles a corto plazo para colonizar un nuevo hábitat antes que las especies competidoras. Se acaba antes propagándose vegetativamente que esperando a ser polinizada y fecundada, formar fruto y semilla dentro de él y después dispersar y germinar la semilla. Sin embargo, la reproducción sexual es el secreto para el éxito reproductivo a largo plazo, es decir, para la perpetuación de la especie. El hecho antes comentado de que de dos naranjos sabrosos no siempre salga un descendiente igual de sabroso, es decir, el hecho de que haya variabilidad genética en la reproducción sexual puede ser un problema para el agricultor pero es la clave para que una especie sobreviva a lo largo de millones de años a los innumerables cambios que sufrirá su entorno. A mayor base genética, mayor probabilidad de adaptación. La genética de nuevo.

En definitiva, en la actualidad sabemos que la reproducción sexual es esencial para la pervivencia de una especie vegetal, pero no es el único modo de reproducción sino una

de las distintas opciones que una especie vegetal tiene. En función de lo que le convenga en un momento evolutivo u otro, optará por la vía sexual o por la asexual. Gracias a la capacidad totipotente de las células vegetales, la reproducción asexual presenta multitud de alternativas reproductivas para la planta y puede llegar a ser incluso la forma principal de reproducción en un momento dado. Estas alternativas, además, abren nuevos horizontes biotecnológicos para el desarrollo de la agricultura del futuro, pues suponen una poderosísima herramienta de propagación y creación de nuevas variedades sin necesidad de manipulación genética.

Bibliografía y fuentes de información

- [1] Cubero, J.I. (2003). Introducción a la mejora genética vegetal, 2ª edición. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- [2] Seguí-Simarro, J.M. (2001). Inducción a embriogénesis en polen: caracterización celular y expresión de proteínas de estrés. Tesis Doctoral. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- [3] Seguí-Simarro, J.M. y Nuez, F. (2008). How microspores transform into haploid embryos: changes associated with embryogenesis induction and microspore-derived embryogenesis. *Physiologia Plantarum*. En prensa.