

TEMA 2. Mecanismos de reproducción sexual de las plantas cultivadas: naturaleza y control manual y químico

- 1.- La expresión sexual de las plantas cultivadas.**
- 2.- Determinación genética del sexo**
- 3.- Tipos de flores y de especies atendiendo a la polinización**
- 4.- Mecanismos que conducen a la autogamia**
- 5.- Características de los mecanismos que favorecen la autogamia**
- 6.- Mecanismos que favorecen la alogamia que no requieren diversidad genética**
- 7.- Mecanismos favorecedores de la alogamia que requieren diversidad genética**
- 8.- Incidencia del sistema reproductivo en los programas de mejora vegetal**
- 9.- La hibridación dirigida.**
- 10.- Procedimientos manuales**
- 11.- Castración química: gametocidas selectivos**

Bibliografía

SEMILLAS. BIOLOGÍA Y TECNOLOGÍA.

Besnier Romero, F.
Mundiprensa. Madrid 1989.
Capítulo 2

PRINCIPIOS DE LA MEJORA GENÉTICA DE PLANTAS.

Allard, R.W.
Omega. Barcelona. 1967.
Capítulos 4 y 5

MEJORAMIENTO GENÉTICO DE LAS COSECHAS

Poehlman, J. M., Sleper, D. A.
Editorial Limusa. Mexico. 2003
Capítulo 2

INTRODUCCIÓN A LA MEJORA GENÉTICA DE PLANTAS

Cubero, J.I.
Mundi-Prensa. Madrid. 2003.
Capítulo 12

GENÉTICA GENERAL. CONCEPTOS FUNDAMENTALES.

Lacadena, J.R.
Síntesis. Madrid. 1999.
Capítulo 16

1. La expresión sexual de las plantas cultivadas.

La expresión sexual de una flor puede ser masculina, femenina o hermafrodita. La expresión sexual de una planta puede ser androica (sólo produce flores estaminadas), ginoica (sólo produce flores pistiladas), hermafrodita (sólo produce flores hermafroditas), monoica (produce flores estaminadas y flores pistiladas), andromonoica (produce flores estaminadas y hermafroditas), ginomonoica (produce flores pistiladas y hermafroditas) y trimonoica (produce los tres tipos de flores).

Una población es hermafrodita si todos sus individuos lo son, y en consecuencia cada individuo produce los dos tipos de gametos, masculino y femenino. En la mayoría de las especies fanerógamas las poblaciones son hermafroditas. En estos casos no existe diferenciación sexual ni entre las flores de un individuo ni entre los individuos de la especie. No existen por tanto diferencias genéticas que generen variación de la expresión sexual.

Las especies monoicas son mucho menos numerosas. Ejemplos de especies clasificables como monoicas son el maíz, el avellano, el castaño, el nogal y el olivo. En las especies monoicas la expresión sexual de las flores de un individuo es diferente, pero no suelen existir diferencias de expresión sexual entre individuos de una misma población, esto es, todos son monoicos, o todos son andromonoicos, o todos ginomonoicos o todos timonoicos, y por tanto, también todos los individuos producen gametos de los dos sexos.

Las especies dioicas se caracterizan por la existencia de diferenciación sexual entre los individuos de una misma población. En ellas, los individuos pertenecen a un sexo u otro, y por tanto, o son machos (solo tienen flores estaminadas), o son hembras (solo tienen flores pistiladas). Las especies dioicas son todavía menos numerosas que las monoicas, representando un 3 % de las especies con flor. También se consideran poblaciones dioicas las llamadas androdioicas (con individuos androicos y hermafroditas) y las llamadas ginodioicas (con individuos ginoicos y hermafroditas). Son ejemplos de especies dióicas el cañamo, el lúpulo, el espárrago, la espinaca y la palmera datilera.

Tipo general	Expresión sex de la poblac..	Expresión sexual de individuos	Expresión sexual de las flores		
			Masculinas	Femeninas	Hermafroditas
Hermafrodita	Hermafrodita	Hermafroditas	-	-	+
Monoico	Monoica	Monoicos	+	+	
	Andromonoica	Andromonoicos	+		+
	Ginomonoica	Ginomonoicos		+	+
	Trimonoica	Trimonoicos	+	+	+
Dioecia	Dioicas	Androicas	+	-	-
		Ginoicos	-	+	-
	Androdioicas	Androicos	+	-	-
		Hermafroditas	-	-	+
Ginodioicas	Ginoicos	-	+	-	
	Hermafroditas	-	-	+	

Algunas especies se consideran monoicas porque así lo son normalmente sus poblaciones. Sin embargo, en las mismas existen diferencias de expresión sexual a nivel de especie, ya que algunas poblaciones son monoicas, otras ginomonoicas, otras andromonoicas y otras trimonoicas. Esto

ocurre en pepino y melón. Es más, en estas especies pueden aparecer individuos androicos y ginoicos en ciertas poblaciones, con lo cual ya estaríamos hablando de dioecia en las mismas, o de una dioecia excepcional dentro de la norma que es la monoecia.

2. Determinación genética del sexo

Ya se ha indicado que en la mayoría de las especies vegetales no existe diferenciación sexual, ya que son hermafroditas. Pero en algunas monoicas y en las dioicas podemos encontrar individuos con diferente expresión sexual. Esta variación está determinada, en general, genéticamente.

La determinación genotípica del sexo puede ser monogénica o multigénica. En el primer caso, la diferencia entre plantas macho y hembra depende de un solo gen, como ocurre en la cucurbitácea *Ecbalium elaterium*, donde los alelos más frecuentes de dicho gen son a^d y a^D , de tal modo que las plantas macho son siempre heterocigóticas ($a^d a^D$), mientras las femeninas son homocigóticas ($a^d a^d$). No pueden aparecer individuos $a^D a^D$ puesto que el tipo de cruzamiento siempre será $a^d a^d \times a^d a^D$. Pero en esta especie aparecen también individuos monoicos de cuya expresión sexual es responsable un tercer alelo (a^+) perteneciente a la misma serie de los otros dos. Los fenotipos asociados a los genotipos de esta serie alélica son los siguientes:

$a^d a^D$	androico
$a^+ a^D$	androico
$a^+ a^+$	monoico
$a^+ a^d$	monoico
$a^d a^d$	ginoico

En el pepino, otra cucurbitácea, la expresión sexual, originariamente monoica, también puede ser variable, ya que además de plantas monoicas pueden aparecer otras andróicas, ginóicas, hermafroditas y andromonóicas. Además de factores ambientales y de diversos genes modificadores, tres genes mayores son los responsables de la herencia de estas formas sexuales del pepino, *Acr/acr*, *M/m* y *A/a*:

<i>acr acr</i>	<i>M - -</i>	<i>A - -</i>	monóica
<i>Acr - -</i>	<i>M - -</i>	<i>- - - -</i>	ginóica
<i>Acr - -</i>	<i>m m</i>	<i>- - - -</i>	hermafrodita
<i>acr acr</i>	<i>m m</i>	<i>A - -</i>	andromonóica
<i>acr acr</i>	<i>- - - -</i>	<i>a a</i>	andróica

En muchas especies en las que la determinación genotípica del sexo es multigénica, parte del complejo génico determinante del sexo se localiza en un par de cromosomas homólogos pero heteromorfos (estructuralmente diferentes, más o menos según la especie) denominados cromosomas sexuales o heterocromosomas. El resto de los cromosomas se denominan autosomas.

El tipo de cromosomas sexuales que regula la determinación del sexo en *Drosophila*, y en otros insectos, el hombre y otros mamíferos, en muchos anfibios, peces y en muchas plantas dioicas es el llamado XY. Las hembras son homomórficas (los dos cromosomas sexuales tienen la misma morfología, XX) y homogaméticas (sus gametos son siempre iguales para el cromosoma sexual, X) y los machos son heteromórficos (los dos cromosomas sexuales tienen distinta morfología, XY) y heterogaméticos (producen dos clases de

gametos respecto al cromosoma sexual, X e Y). Un sistema como este asegura en las poblaciones una proporción 1:1 entre machos y hembras.

En otras ocasiones como ocurre en la gallina doméstica y en la fresa *Fragaria elatior* el sexo homomórfico y homogamético es el macho (ZZ) y la hembra el heteromórfico y heterogamético (ZW).

La diferenciación monogénica $Aa-aa$ del sexo puede equipararse a un sistema XY-XX, en el que el cromosoma X es portador de a y el Y de A , sin que exista entre ellos diferenciación morfológica. Parece ser que este es el tipo ancestral de cromosomas sexuales, tipo que fue evolucionando con diferencias cada vez más acusadas entre los cromosomas X e Y hasta llegar al extremo de que en algunas especies el cromosoma Y falta totalmente, siendo la hembra XX y el macho XO.

Existen otros tipos de determinación cromosómica del sexo que no describiremos. En cualquier caso, es necesario subrayar que no son los cromosomas en sí los que determinan el sexo, sino los genes que contienen, y éstos en interacción con otros genes situados en cromosomas autosómicos (el resto de los cromosomas no sexuales).

3.- Tipos de flores y de especies atendiendo a la polinización

Son flores autógamas aquellas que se polinizan y fecundan con su propio polen y flores alógamas aquellas que reciben polen de otra flor.

Son especies autógamas aquellas que poseen flores autógamas y que, por tanto, son polinizadas y fecundadas por polen de la misma planta. Como ejemplo de especies autógamas, podemos citar los siguientes: algarrobas, almortas, arroz, avena, cacahuete, cebada, garbanzo, guisante, judía común, judía de lima, lechuga, lenteja, mijo, soja, tomate, trigo panadero, trigo duro, veza común, yeros....

Son especies alógamas aquellas que poseen flores alógamas, bien hermafroditas o bien unisexuales (femeninas), que son fecundadas, habitualmente, por polen procedente de otras plantas de la misma especie. Las especies alógamas pueden serlo obligadas o facultativamente.

Son especies alógamas obligadas todas las dioicas y las que poseen, en todos o en gran parte de sus genotipos, mecanismos de incompatibilidad. Las demás especies pueden ser alógamas facultativas en el sentido de que, en circunstancias determinadas todas o parte de sus flores pueden ser fecundadas por su propio polen o por el polen de plantas de idéntico genotipo, produciéndose semillas normales. Por ejemplo, los estigmas de una planta de maíz pueden recibir polen de su propia inflorescencia masculina, polen que es compatible en la mayoría de los genotipos. En una parcela normal, la saturación del polen procedente de las plantas vecinas y la normal protandria del maíz harán que el polen propio recibido sea escaso o nulo, y escasas o ausentes las semillas procedentes de autofecundación. Pero en una planta aislada, todas las semillas producidas, aunque sean escasas, procederán de autofecundación. El maíz, es pues, una planta alógama facultativa. La autofecundación es rara en la naturaleza, pero puede conseguirse fácilmente en los trabajos de mejora de forma artificial. Son especies alógamas: acelga, achicoria, alcachofa, alfalfa, alpiste, borraja, brócoli, cáñamo, cardo, cebolla, centeno, chirivía, col china, col de bruselas, col de milán, coliflor, colinabo, colirábano, colza endibia, espinaca, lombarda, maíz, nabo, perejil, puerro, rábano, remolacha, repollo, zanahoria...

Son especies de alogamia parcial aquellas cuyas flores pueden ser polinizadas y fecundadas indistintamente por polen de la misma flor, de la misma planta o de otras plantas, y ello, de forma habitual por el conjunto de la especie. Estas plantas corrientemente se clasifican como preferentemente alógamas o preferentemente autógamas. Éstas son aquellas cuyo porcentaje de fecundación cruzada es como máximo del 25%. Aquellas son aquellas en las que fecundación cruzadas suele ser como mínimo del 75%. Como ejemplos de especies con alogamia parcial preferentemente autógamas podemos citar: algodón, berenjena, pimiento, escarola, habas, sorgo y tabaco. Como ejemplo de especies con alogamia parcial preferentemente alógamas podemos citar: cacao, cafeto, girasol, melón, pepino, sandía, calabaza y calabacín.

4.- Mecanismos que conducen a la autogamia

Uno de los mecanismos que más favorece la autogamia es la cleistogamia (kleistos = cerrado, gamos = nupcias). Son flores cleistogamas aquellas cuya polinización tiene lugar estando cerradas. A este término se opone el término casmogamo.

La cleistogamia puede darse cuando la flor no se abre nunca. Es la llamada cleistogamia forzosa o constitucional. Se trata de fenómeno raro a nivel de especie (se da en algunas gramíneas como *Danthonia californica* o *Festuca microtachys*). Más frecuente es el hecho que determinados tipos o variedades sean constitucionalmente cleistógamos, como ocurre en arroz o sorgo.

Otras veces, las flores se abren pero ya no quedan en ellas ni polen funcional ni estigmas receptivos (polinización en preantesis). Esto ocurre en especies como judía, el guisante, el cacahuete o la soja.

Por otra parte, en plantas casmógamas (aquellas en las que todavía puede existir polen funcional y estigmas receptivos en sus flores una vez que éstas se han abierto) pueden existir mecanismos que aseguren el máximo de autopolinización (autogamia funcional). Por ejemplo, en cebada la dehiscencia de las anteras y el depósito de polen sobre los estigmas tiene lugar después de la antesis pero cuando la espiga está todavía dentro de la vaina. De esta manera para efectuar hibridaciones es necesario cortar la vaina longitudinalmente, sacar la espiga inmadura y emascularla. En trigo ocurre lo mismo. La proporción de anteras con polen funcional y estigmas receptivos que quedan después de la antesis dependen de la especie, variedad y condiciones ambientales.

En tomate, la polinización se realiza después de la antesis, pero la autofecundación está asegurada porque el cono estaminal envuelve al estigma y al estilo. La antera se abre internamente y el polen cae sobre la parte femenina de la flor.

En la lechuga se da un mecanismo de tipo pistón, ya que el estilo se abre paso a través de la columna estaminal, golpeando la masa de polen y poniéndose en contacto con ella.

En estos casos de autogamia funcional es posible cierto grado de fecundación cruzada que puede conducir a cierto grado de heterocigosis.

5.- Características de los mecanismos que favorecen la autogamia

Estos mecanismos no requieren diversidad genética para mantenerse. La tasa de autogamia está condicionada por factores genéticos, por factores

ambientales abióticos (temperatura, humedad, viento,...) y factores ambientales bióticos, como la presencia de insectos polinizadores.

6.- Mecanismos que favorecen la alogamia que no requieren diversidad genética.

Monoecia. La separación en el espacio de los órganos masculinos y femeninos dentro de una misma planta evidentemente favorece más la alogamia que si estos órganos están juntos en la misma flor.

Dicogamia. Son plantas dicógamas aquellas en las que los estambres y estigmas de una misma flor alcanzan la madurez para la polinización en épocas distintas. Dentro de la dicogamia podemos distinguir entre protandria, que ocurre cuando los estambres maduran antes que los estigmas (zanahoria, frambuesa, alcachofa, remolacha, cebolla,...) y protoginia, que ocurre cuando los estigmas maduran antes que los estambres (chirimoyo, aguacate, batata,...).

Hercogamia. Ocurre cuando la posición en el espacio de los órganos femeninos y masculinos de una misma flor impide la autofecundación. Ocurre en las orquídeas y en especies del género *Iris*.

En alfalfa se da otro mecanismo de exogamia. En esta especie el estigma no es receptivo hasta que no se rompe una membrana que lo cubre. Esto se realiza mediante un resorte. Los estambres y el estigma se alojan dentro de la quilla y quedan sujetos a ella con bastante tensión. Cuando esta tensión se libera por presión mecánica ejercida por la abeja, la columna sexual se dispara bruscamente y golpea al estandarte rompiéndose la membrana, lo que provoca la salida del polen que se deposita en el cuerpo de la abeja. Por su parte el estigma también toca el cuerpo de la abeja y recibe el polen de otras flores adherido al cuerpo de ésta. Además la alfalfa tiene un sistema de incompatibilidad llamado esterilidad somatoplásmica, en la que los embriones derivados de autofecundación sobreviven con menos frecuencia que los embriones de fecundación cruzada.

Lo esencial de estos mecanismos que se acaban de describir es que no requieren diversidad genética, es decir, su funcionamiento es independiente del genotipo de las plantas, siendo capaces de favorecer la fecundación cruzada entre plantas del mismo genotipo o entre flores de la misma planta.

7.- Mecanismos favorecedores de la alogamia que requieren diversidad genética

Son la dioecia, la androesterilidad, la autoincompatibilidad y la heterostilia. Estos mecanismos impiden el cruzamiento entre genotipos idénticos.

La androesterilidad se da cuando los gametos masculinos de algunos genotipos no son funcionales, favoreciendo por lo tanto la fecundación cruzada de al menos estos genotipos. La androesterilidad está gobernada por genes nucleares o por genes citoplasmáticos. Resulta obvio que las plantas androestériles no se pueden autofecundar.

Una planta bisexual es autoincompatible cuando aun produciendo gametos masculinos y femeninos perfectamente funcionales no se produce nunca descendencia por autofecundación ya que existen sistemas genéticos constituidos por series alélicas de incompatibilidad polen-estigma, que impiden

que los granos de polen de una planta no puedan desarrollarse sobre los estigmas de la misma o de otras de genotipo afin.

La dioecia, la androesterilidad y la autoincompatibilidad evitan la autogamia y facilitan la heterocigosis y el intercambio de genes entre poblaciones y pueden utilizarse para la producción de semillas híbridas o variedades sintéticas, como más adelante se estudiará.

La heterostilia se da cuando existen varios tipos de flores dentro de una misma especie (heteromorfismo). Un ejemplo conocido es el de *Primula* que posee flores con estilos cortos y largos (distilia). Otro ejemplo es *Lythrum* cuyas flores poseen tres tipos de estilo: cortos, intermedios y largos (tristilia). La disposición de los estambres respecto a lo de los diferentes tipos de estilos hace que los insectos recojan polen en una determinada parte de su cuerpo que, posteriormente, entra en contacto con el estigma de flores de distinta configuración. Este mecanismo puede estar reforzado por mecanismos de autoincompatibilidad. Sin embargo esta autoincompatibilidad falta en numerosos casos, en los cuales es posible la autofecundación.

La heterostilia es muy rara en plantas de interés económico de cosecha, pero es bastante frecuente en plantas ornamentales, lo que ha de tenerse cuenta en la producción de semillas comerciales de estas plantas.

8.- Incidencia del sistema reproductivo en los programas de mejora vegetal.

La división de las plantas en autógamias, alógamas y alógamas parciales es muy importante desde el punto de vista genético, ya que el sistema reproductivo determina la estructura genética de las poblaciones, y afecta a la manipulación reproductiva del material vegetal en los programas de mejora genética. Ambos aspectos, estructura genética y manipulación reproductiva, tienen una importancia decisiva en la elección del método de mejora.

En cuanto a la estructura genética en las especies autógamas, la autogamia continuada conduce a poblaciones formadas exclusivamente por homocigotos. Estas poblaciones son muy consanguíneas pero están bien adaptadas a la consanguinidad ya que no sufren depresión consanguínea. Estos aspectos están en el fondo de una importante familia de métodos de mejora de autógamas que conducen al desarrollo de variedades de línea pura. Por otro lado, en alógamas, la exogamia espontánea mantiene una tasa importante de heterocigosis, que si es eliminada mediante cruzamientos consanguíneos (que en cualquier caso se deberían realizar de forma artificial) da lugar a depresión consanguínea. Así pues, en estas especies la línea pura generalmente no tiene sentido como producto final de mejora y el desarrollo de variedades población es más común, ya que estas variedades se obtienen mediante métodos de selección que intentan mantener la consanguinidad dentro de determinados límites. Tanto en autógamias como en alógamas tiene sentido la obtención de líneas puras como productos intermedios de mejora para el desarrollo de variedades híbridas, en las que el manejo de la heterocigosis es tal que hace compatible una máxima explotación de la heterosis (vigor híbrido) con una máxima homogeneidad. En cualquier caso, el desarrollo de híbridos ha sido más común en alógamas que en autógamias, debido a que en éstas últimas, la hibridación, que es el paso definitivo en el desarrollo de un buen híbrido, suele ser más difícil de llevar a cabo,

precisamente porque su sistema reproductivo se opone a la difusión de polen de unas plantas a otras.

La manipulación reproductiva del material vegetal (cruzamientos y autofecundaciones artificiales) en los programas de mejora genética es, junto a la selección, la herramienta más importante de la mejora. Obviamente, la biología reproductiva incide sobre dicha manipulación. Dicha herramienta se utiliza al principio del programa de mejora, durante todo el desarrollo del mismo o incluso al final según el caso. Por tanto, la facilidad con que podemos cruzar artificialmente materiales distintos, o autofecundar determinados individuos, es también determinante sobre la elección del método de mejora, ya que condiciona los detalles de ejecución del programa. Así, el tipo de programa que da mejores resultados en maíz, planta alógama en la que la autofecundación es fácil y la hibridación en gran escala es económica, es diferente en objetivo y ejecución del tipo de programa natural y conveniente para la alfalfa, especie también alógama, pero en la que la autofecundación y los cruzamientos controlados son muy difíciles. La facilidad con que pueden obtenerse cruzamientos artificiales en una autógamas como el tomate permite mayor flexibilidad en la elección del programa de mejora que en otras especies también autógamas, como el trigo, la cebada o la lechuga, donde los cruzamientos son más laboriosos y caros.

9.- El control artificial de la polinización. Polinización cruzada dirigida y autopolinización dirigida.

El cruzamiento dirigido entre progenitores elegidos deliberadamente es una operación importantísima en la mejora. En el epígrafe anterior ya se ha indicado que en algunos programas es el punto de partida, en otros interviene a lo largo de todo el programa y en otros puede ser un fin en si mismo. En todos los casos es necesario disponer de un método que sea eficaz, que asegure que la semilla producida en el parental femenino es el producto del cruzamiento de éste con el masculino. Otras veces, en mejora es necesario autofecundar artificialmente materiales cuya tendencia natural es evitar la autogamia.

Para realizar cruzamientos de forma dirigida se deben realizar tres operaciones: castración (emasculación), obtención del polen y polinización. Estas tres operaciones pueden realizarse de forma manual con mayor o menor dificultad. Para hacer autopolinizaciones artificiales en especies alógamas (en autógamas siempre son naturales) la castración no es necesaria pero es necesario asegurar la llegada del propio polen de una planta a sus estigmas.

10.- Procedimientos manuales

La castración manual debe realizarse antes de la dehiscencia de las anteras, con los estigmas más o menos próximos al periodo de receptividad, según las posibles limitaciones de la polinización, ya que en algunos casos es necesario polinizar inmediatamente después de emascular. En otras ocasiones es posible polinizar con cierto retraso respecto a la castración. Así las flores de trigo, cebada y avena se emasculan antes de que las anteras estén maduras y se polinizan dos o tres días después, cuando los estigmas están receptivos. En remolacha es posible realizarla polinización doce días después de la castración.

Las flores a emascular serán elegidas de forma que estén en el estado adecuado de desarrollo de sus órganos sexuales. Por ejemplo, en las habas esto ocurre cuando los pétalos tienen una longitud doble de la del cáliz, en arroz cuando los estambres llegan a la mitad de la corola, en tomate cuando los pétalos forman un ángulo con el eje de la flor de 45° como máximo, en cebada cuando las barbas asoman por encima de la banderola en la espiga todavía cerrada, etc. Una vez elegidas las flores a castrar, se eliminan las anteras. A veces no es necesario, por ejemplo, cuando el estigma finaliza su periodo de receptividad al menos un día antes de la dehiscencia de las anteras, llevándose a cabo la polinización durante dicho periodo de receptividad. Esto ocurre en garbanzo. En otros casos es necesario cortar las anteras antes de que maduren. Los accesorios necesarios pueden ser pinzas, lancetas, tijeras, lupas, bombas de aspiración, nebulizadores de agua, etc. Una vez emasculada la flor debe embolsarse y etiquetarse, cuando la polinización no es inmediata, para impedir la llegada de polen indeseable.

La recogida del polen del parental masculino debe realizarse en el momento idóneo de desarrollo de la flor para que la cantidad de polen maduro sea máxima. En tomate, por ejemplo es el mismo día de la antesis, cuando los pétalos forman un ángulo de 45° con el eje de la flor. La recogida del polen puede hacerse sin separar las flores de la planta (arroz, maíz, sorgo, etc.) o arrancándolas previamente (tomate, melón, pimiento, etc.). Puede hacerse con ayuda de diversos utensilios como pinzas, vibradores mecánicos, lancetas, pinceles, etc., recogiendo en placas Petri o recipientes similares. El polen recogido puede ser de uso inmediato o para su conservación previa durante cierto tiempo. El tiempo durante el cual el polen se mantiene viable difiere entre especies y es función de las condiciones ambientales. En general, las bajas temperaturas y la baja humedad relativa favorecen la longevidad. La variación puede ser amplia, desde unas horas hasta años, según especie.

La polinización artificial, como es obvio debe realizarse durante el periodo de receptividad de los estigmas. Dicho periodo varía entre especies, y depende de las condiciones ambientales, oscilando entre unas horas hasta un mes. Como norma general, en cultivos de polinización entomófila (manzano, cebolla, batata, etc.) la receptividad se extiende durante varios días, salvo en crucíferas y cucurbitáceas, en las que sólo dura unas horas. En anemófilas la receptividad es de al menos una semana. En cualquier caso lo ideal es polinizar el mismo día de la antesis. La aplicación del polen sobre los estigmas implica procedimientos variados: aplicación directa a flores emasculadas desde el mismo recipiente de almacenaje, restregando directamente los estigmas con las anteras o con la ayuda de pincel, lanceta, punta de lápiz, cerilla, etc. o aplicación directa, colocando juntas flores masculinas y femeninas, cubriéndolas con bolsa y agitando periódicamente.

Posiblemente la especie en la los cruzamientos artificiales sean más fáciles de realizar sea el maíz. Se trata de una especie monoica, que concentra todas sus flores masculinas en el penacho, lo cual facilita extraordinariamente su eliminación. La difusión de polen desde los parentales masculinos a los femeninos castrados se deja que tenga lugar espontáneamente. La única precaución a tomar es el aislamiento espacial de la parcela donde se están realizando los cruzamientos de otros cultivos de maíz. Por el contrario, si queremos autofecundar una planta hemos de tener en cuenta dicogamia, concretamente su protandria: cuando las flores femeninas

de una planta son receptivas al polen no queda (o queda muy poco) polen viable en sus flores masculinas. Por ello es necesario recoger el polen cuando todavía es funcional y conservarlo en condiciones tales que alargue su longevidad hasta que las flores estén receptivas

Pero en general, las hibridaciones dirigidas manuales son más o menos costosas y laboriosas, sobre todo en especies que tienen gran número de pequeñas flores hermafroditas agrupadas, tales como la cebolla, la zanahoria, la alcachofa o la lechuga. Así por ejemplo un capítulo de alcachofa tiene entre 600 y 1500 flores hermafroditas. La emasculación es prácticamente imposible. Su antesis es centripeta y su polinización entomófila. Primero abren las flores más exteriores del capítulo y luego las más interiores. Cuando se produce la antesis, el estilo se alarga a través del cilindro estaminal con las anteras ya dehiscentes y arrastra al polen. Pero el estigma no es receptivo hasta 4 o 5 días después, cuando el polen ya habrá perdido su viabilidad. Su protandria evita con seguridad la autofecundación a nivel de flor pero no a nivel de capítulo, ya que cuando las flores exteriores del capítulo tengan sus estigmas receptivos puede haber polen viable en las flores centrales. Por ello, en los cruzamientos artificiales, cuando se esparza el polen del progenitor masculino sobre las flores capítulo del progenitor femenino (previamente embolsado para evitar la llegada de insectos) tendremos que conocer cuál es el momento en el que quedando todavía en él flores con estigmas receptivos no quede ya nada de polen propio viable. Para hacer autofecundaciones es necesario polinizar un capítulo que tenga estigmas receptivos con polen recogido en otro capítulo de la misma planta que se haya abierto más tarde, o recoger el polen del mismo capítulo y conservarlo a 2-3°C hasta que los estigmas estén receptivos.

Por todo lo indicado anteriormente se comprende la necesidad que tiene el mejorador de un conocimiento exacto de la morfología y fisiología reproductiva de la especie vegetal con que trabaja, con el fin de establecer los detalles de ejecución de la manipulación reproductiva, evaluar el costo de la misma y elegir el programa de mejora que sea más compatible con ella.