



# Técnicas de Mejora Vegetal

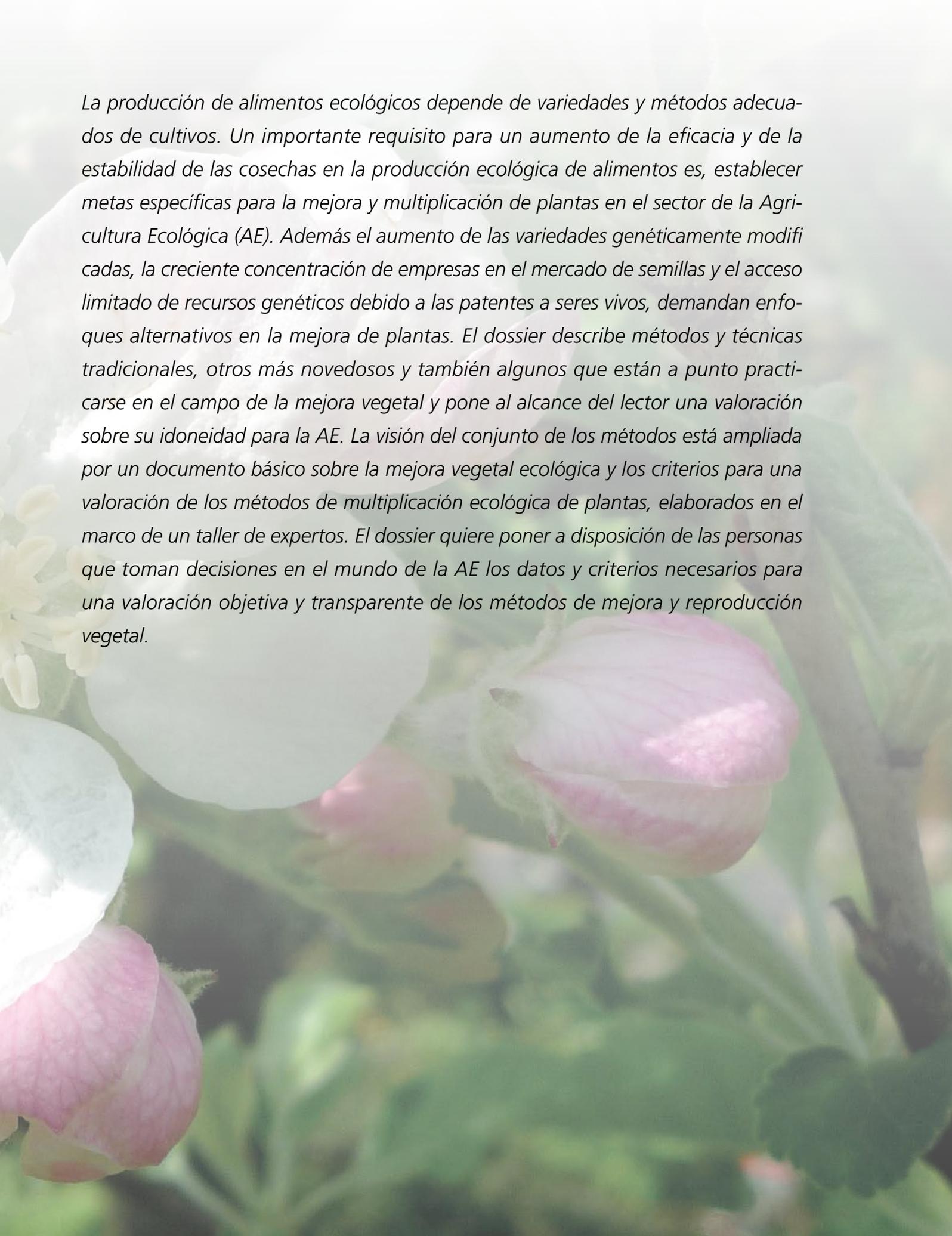
Una valoración desde la Agricultura Ecológica



2015 1. Edición

## Contenido

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>	<b>Selección fenotípica en campo</b>	<b>29</b>
<b>¿POR QUÉ UNA MEJORA ECOLÓGICA DE PLANTAS? 5</b>		Mejora lanzadera (de ida y vuelta)	29
Qué perfil exigimos a las variedades aptas para la agricultura ecológica	5	Cambio del momento de siembra	30
Concentración en el mercado de las semillas	6	Método de la espiga de la mazorca	30
		Cruzamientos experimentales	31
<b>MARCO LEGAL</b>	<b>8</b>	<b>Selección fenotípica bajo condiciones Controladas</b>	<b>31</b>
Protección de variedades	8	<b>Selección por análisis tecnológico</b>	<b>32</b>
Patentes	9	<b>Selección organoléptica</b>	<b>32</b>
		<b>Selección por métodos de imagen</b>	<b>33</b>
<b>ORGANISMOS GENETICAMENTE MODIFICADOS</b>	<b>10</b>	Selección a nivel de células o tejidos	33
<b>ESTRATEGIAS PARA UNA ELECCIÓN OPTIMIZADA DE VARIEDADES</b>	<b>10</b>	<b>Selección <i>in vitro</i></b>	<b>33</b>
		Técnicas a nivel del ADN y productos genéticos experimentales	34
<b>TÉCNICAS PARA LA MEJORA Y MULTIPLICACIÓN DE PLANTAS</b>	<b>12</b>	<b>Selección asistida por marcadores (MAS)</b>	<b>34</b>
		<b>Proteómica / Metabolómica</b>	<b>35</b>
<b>GENERACIÓN DE VARIACIÓN GÉNÉTICA</b>	<b>14</b>	<b>PROPAGACIÓN</b>	<b>36</b>
Técnicas a nivel de plantas	14	Técnicas a nivel de plantas	36
<b>Cruzamiento dirigido dentro de la misma especie (intraespecíficos)</b>	<b>14</b>	<b>Propagación generativa</b>	<b>36</b>
<b>Cruzamientos interespecíficos</b>	<b>15</b>	<b>Propagación vegetativa</b>	<b>37</b>
<b>Cruzamiento puente</b>	<b>16</b>	<b>Apomixis</b>	<b>37</b>
<b>Mutación espontánea</b>	<b>16</b>	Técnicas a nivel de células y de tejidos	38
<b>Tilling</b>	<b>17</b>	<b>Propagación <i>in vitro</i>, cultivo de células y tejidos</b>	<b>38</b>
<b>Poliploidización</b>	<b>18</b>	Cultivo de meristemos	38
<b>Esterilidad masculina citoplasmática (CMS)</b>	<b>18</b>	Cultivo de segmentos nodules	38
Técnicas a nivel de células y de tejidos	19	Cultivo de callos	39
<b>Cultivo de ovarios y embriones</b>	<b>19</b>	Diferentes tipos de variedades	39
<b>Generación de doble haploides (líneas DH)</b>	<b>20</b>	<b>Varietades clonales</b>	<b>39</b>
<b>Fusión de protoplastos</b>	<b>21</b>	<b>Lineas puras (variedades líneas)</b>	<b>40</b>
<b>Fusión de citoplastos, cibridación</b>	<b>22</b>	<b>Mezcla de líneas diversas (Poblaciones de cruces compuestos)</b>	<b>40</b>
Técnicas a nivel del ADN		<b>Varietades Población</b>	<b>41</b>
<b>Transferencia de genes para producir variedades transgénicas</b>	<b>22</b>	<b>Varietades policruzadas (variedades multi-componente)</b>	<b>41</b>
<b>Cisgénesis</b>	<b>23</b>	<b>Híbridos</b>	<b>42</b>
<b>Transformación de plastidios</b>	<b>24</b>	<b>Híbridos + efecto Xenia</b>	<b>43</b>
<b>Mutaciones dirigidas con nucleasas de dedos de cinc</b>	<b>24</b>	<b>CRITERIOS PARA LA VALORACIÓN DE MÉTODOS DE MEJORA VEGETAL</b>	<b>44</b>
<b>Mutación dirigida por oligonucleótidos</b>	<b>25</b>	Fundamentos para la mejora vegetal ecológica	44
<b>Silenciamiento génico-Interferencia de ARN</b>	<b>26</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>47</b>
<b>Mejora inversa</b>	<b>27</b>	<b>IMPRESIÓN</b>	<b>48</b>
<b>Transformación mediante mini-cromosomas</b>	<b>27</b>		
<b>Biología sintética</b>	<b>28</b>		
<b>SELECCIÓN</b>	<b>29</b>		
Técnicas a nivel de plantas	29		



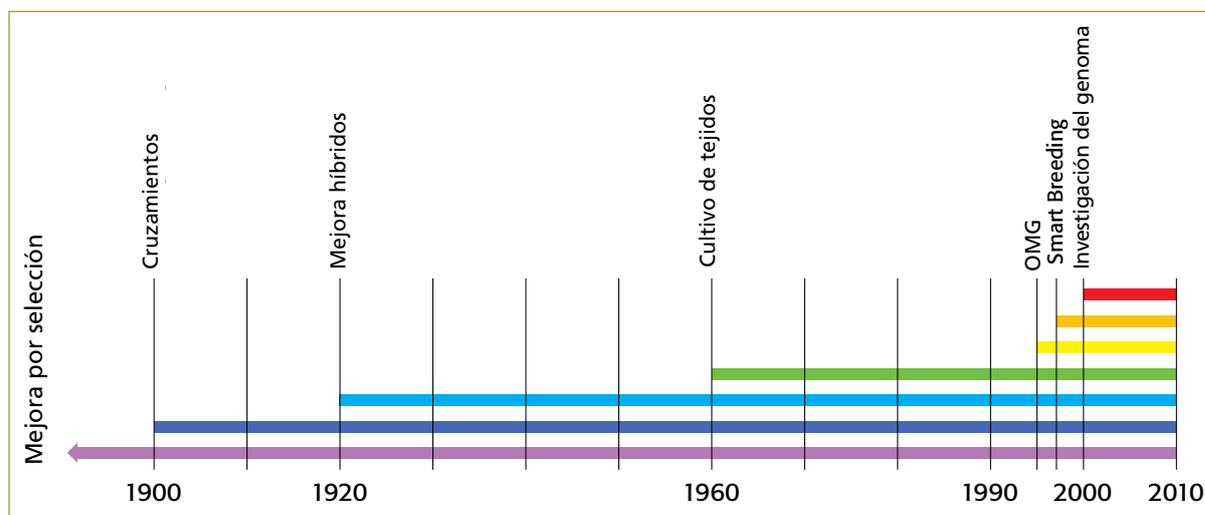
*La producción de alimentos ecológicos depende de variedades y métodos adecuados de cultivos. Un importante requisito para un aumento de la eficacia y de la estabilidad de las cosechas en la producción ecológica de alimentos es, establecer metas específicas para la mejora y multiplicación de plantas en el sector de la Agricultura Ecológica (AE). Además el aumento de las variedades genéticamente modificadas, la creciente concentración de empresas en el mercado de semillas y el acceso limitado de recursos genéticos debido a las patentes a seres vivos, demandan enfoques alternativos en la mejora de plantas. El dossier describe métodos y técnicas tradicionales, otros más novedosos y también algunos que están a punto practicarse en el campo de la mejora vegetal y pone al alcance del lector una valoración sobre su idoneidad para la AE. La visión del conjunto de los métodos está ampliada por un documento básico sobre la mejora vegetal ecológica y los criterios para una valoración de los métodos de multiplicación ecológica de plantas, elaborados en el marco de un taller de expertos. El dossier quiere poner a disposición de las personas que toman decisiones en el mundo de la AE los datos y criterios necesarios para una valoración objetiva y transparente de los métodos de mejora y reproducción vegetal.*

## Introducción

Según los principios de la agricultura ecológica (AE), la generación de nuevas variedades debe ser vista como un proceso integral. Esto quiere decir, no solamente la variedad reproducida sino todo el proceso del desarrollo de esta variedad debe corresponder a los principios de la agricultura ecológica. Hay que considerar criterios importantes como la preservación de la integridad de las plantas, el aumento de la diversidad genética, el respeto de las barreras de cruzabilidad además de las interacciones de las plantas con el suelo vivo y el clima. En consecuencia hay que valorar si la aplicación de técnicas de

fitomejoramiento generalizadas es compatible con los principios de la AE. La agricultura ecológica excluye la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM) por la posibilidad de intercambiar los ADN aislados entre diferentes especies, imposible en procesos naturales. Además, otros métodos libres de la obligación de ser declarados, como por ejemplo la fusión de protoplastos, multiplicación *in vitro*, la inducción de mutaciones y el uso de híbridos, también son valorados en el texto.

### Hitos de la mejora genética de plantas



Fuente: modificado a través de: [www.die-pflanzenzuechter.de/innovationen.html](http://www.die-pflanzenzuechter.de/innovationen.html)

El sector ecológico ha participado en el debate sobre la compatibilidad de técnicas modernas de mejora vegetal con la AE en encuentros y reuniones nacionales e internacionales (Wyss *et al.*, 2001; Arncken, 2002; Wilbois, 2002; Arncken y Thommen, 2002; Arncken y Dierauer, 2005; Lammerts van Bueren y Wilbois, 2003; Lammerts *et al.*, 2007; Billmann *et al.*, 2008; Oehen y Thommen, 2009). Hasta ahora no se ha llegado a una valoración integral sobre las técnicas de fitomejoramiento. Esto es debido a la complejidad de la materia y a la carga emotiva en el debate sobre los Organismos Modificados Genéticamente (OMG). Mientras tanto la investigación y el desarrollo añaden constantemente nuevas técnicas (palabra clave: "smart breeding") que rápidamente entran en el sector de la mejora convencional vegetal y están provocando así nuevas preguntas. Por su alta complejidad, los consumidores y las partes interesadas del mundo de la AE ven con gran escepticismo estas nuevas técnicas. Sin embargo, si este tipo de mejora moderna de plantas es rechazada de antemano por el sector ecológico, existe el peligro de que la agricultura ecológica se desacople demasiado del progreso en la mejora vegetal y en el futuro no pueda mantenerse al día frente a los crecientes desafíos de la agricultura.

## ¿Por qué una mejora ecológica de plantas?

### Qué variedades necesita la Agricultura Ecológica

Para una producción eficiente y sostenible de alimentos en condiciones ecológicas hay que optimizar localmente, de un lado las variedades y también los métodos de cultivo. Las variedades actualmente disponibles proceden en su mayoría de programas de mejora para cultivos convencionales (Lammerts van Bueren *et al.*, 2011). Por esta razón el potencial genético para la AE de lejos no está agotado. Propiedades relevantes para la AE, como p.ej. la resistencia contra enfermedades transmitidas a través de semillas, activos de supresión de malas hierbas o eficiencia en nutrientes no están considerados en la selección de plantas procedentes de semillas tratadas química-sintéticamente, bajo el uso de herbicidas y altos niveles de fertilización. Con urgencia es necesaria desarrollar una mejora de plantas enfocada hacia las metas específicas de la reproducción y de los métodos del cultivo de la Agricultura Ecológica para el aumento de la eficiencia y de cosechas estables en la producción ecológica de alimentos. La AE es sinónimo de una alta diversidad genética a nivel de operadores. Para satisfacer las realidades heterogéneas en la AE, como las condiciones de la ubicación natural de los operadores, la carga del ganado sobre la superficie disponible, las rotaciones de cultivos y finalmente las posibilidades de comercialización, es necesario trabajar con una amplia variedad de cultivos diferentes. Para este fin deberían estar disponibles una amplia cantidad de variedades regionalmente adaptadas. Estas variedades deben garantizar unas cosechas altas y estables bajo las circunstancias locales, aplicando pocos medios externos y disponer de muy buenas calidades a nivel técnico y nutricional. La AE se diferencia de la convencional entre otras cosas por el tipo y la cantidad de fertilizantes aplicados y el control de las malas hierbas y plagas. En la práctica la AE está buscando cerrar el ciclo de nutrientes con la aplicación de fertilizantes vegetales y animales de producción propia y no de fertilizantes minerales rápidamente solubles. Con el cultivo de leguminosas y abonos verdes para la fijación biológica de nitrógeno y el cultivo de variedades nutricionalmente eficientes se puede utilizar de manera óptima los recursos naturales. La lucha contra las malas hierbas se hace con rotaciones optimizadas, métodos mecánicos y variedades de crecimiento rápido, competitivas, que en muchos casos son variedades más duraderas en lugar de aplicación de herbicidas.

El control de plagas y enfermedades se realiza a través de depredadores/parásitos/simbiontes (biodiversidad funcional) y el cultivo de variedades resistentes en lugar de la aplicación de pesticidas. Aparte de múltiples propiedades que también requieren las variedades de la agricultura convencional, las variedades para la AE tienen que disponer de características adicionales. Esto incluye:

- › Resistencias contra enfermedades transmitidas por patógenos del suelo y/o semillas. (No son más relevantes en los programas de mejora convencional por el uso de potentes productos fitosanitarios sintético-químicos)
- › Desarrollo rápido en el estado de plántula
- › Alta capacidad de supresión y elevada tolerancia a las adventicias
- › Buena firmeza con mayor altura de la planta
- › Alta eficiencia en nutrientes por sistema de raíces bien desarrollado y favorecer la simbiosis con los organismos de suelo
- › Identificadores de calidad

Se deben definir las metas de la mejora vegetal ecológica individualmente para cada uno de los cultivos. Hay que incluir también las necesidades de los agricultores, reproductores, mejoradores, comerciantes y consumidores.



Flor de soja.

### Variedades para la Agricultura Ecológica

Desarrollo de variedades	Prueba de variedades	Reproducción de variedades
Mejora convencional (cat.1)	Prueba convencional	Reproducción ecológica de semillas
Mejora convencional (cat.1)	Prueba ecológica	Reproducción ecológica de semillas
Mejora para AE (cat.2)	Prueba ecológica	Reproducción ecológica de semillas
Mejora ecológica (cat.3)	Prueba ecológica	Reproducción ecológica de semillas

## Concentración en el mercado de semillas

La mejora vegetal está dominada por empresas del sector que tienen que refinar sus actividades de investigación y desarrollo con la otorgación de licencias sobre sus variedades. La ayuda pública en muchos casos está limitada al desarrollo de material precursor que después empresas privadas del sector siguen desarrollando y registran como una variedad nueva. Los esfuerzos en la mejora vegetal están concentrados en pocas especies vegetales, precisamente las que garantizan unas ventas sólidas (p.ej. maíz, colza, arroz y soja) que a su vez permiten una amortización de la investigación y del desarrollo de la variedad. Esta práctica habitual deja atrás la investigación y el desarrollo de variedades menos importantes (p.ej. las leguminosas, imprescindibles para la AE) que no pueden contribuir en la misma manera a los beneficios que los cultivos más rentables. Esto conduce a rotaciones de cultivos cada vez más simples y la pérdida del saber hacer en el cultivo que se puede observar actualmente por ejemplo en el cultivo del haba. La industria de la comercialización de semillas ha pasado en los últimos 40 años por una consolidación extraordinaria. La evolución de pequeñas empresas familiares hacia las grandes multinacionales empezó con la generación de semillas híbridas. Grandes empresas agroquímicas que trabajaban principalmente en la investigación biotecnológica adquirieron en los años 80 del siglo pasado empresas del sector de semillas y mejora genética de plantas. En los años 90 del siglo pasado más compras y consolidaciones de competidores crearon grandes corporaciones que actúan a nivel mundial. Con la fusión de empresas agroquímicas, farmacéuticas y de producción de semillas y el uso compartido de sus plataformas tecnológicas se pretendía lograr grandes efectos de sinergia. Los métodos de la ingeniería genética, recientemente desarrollados, todavía requerían inversiones de capital muy grandes. Por lo

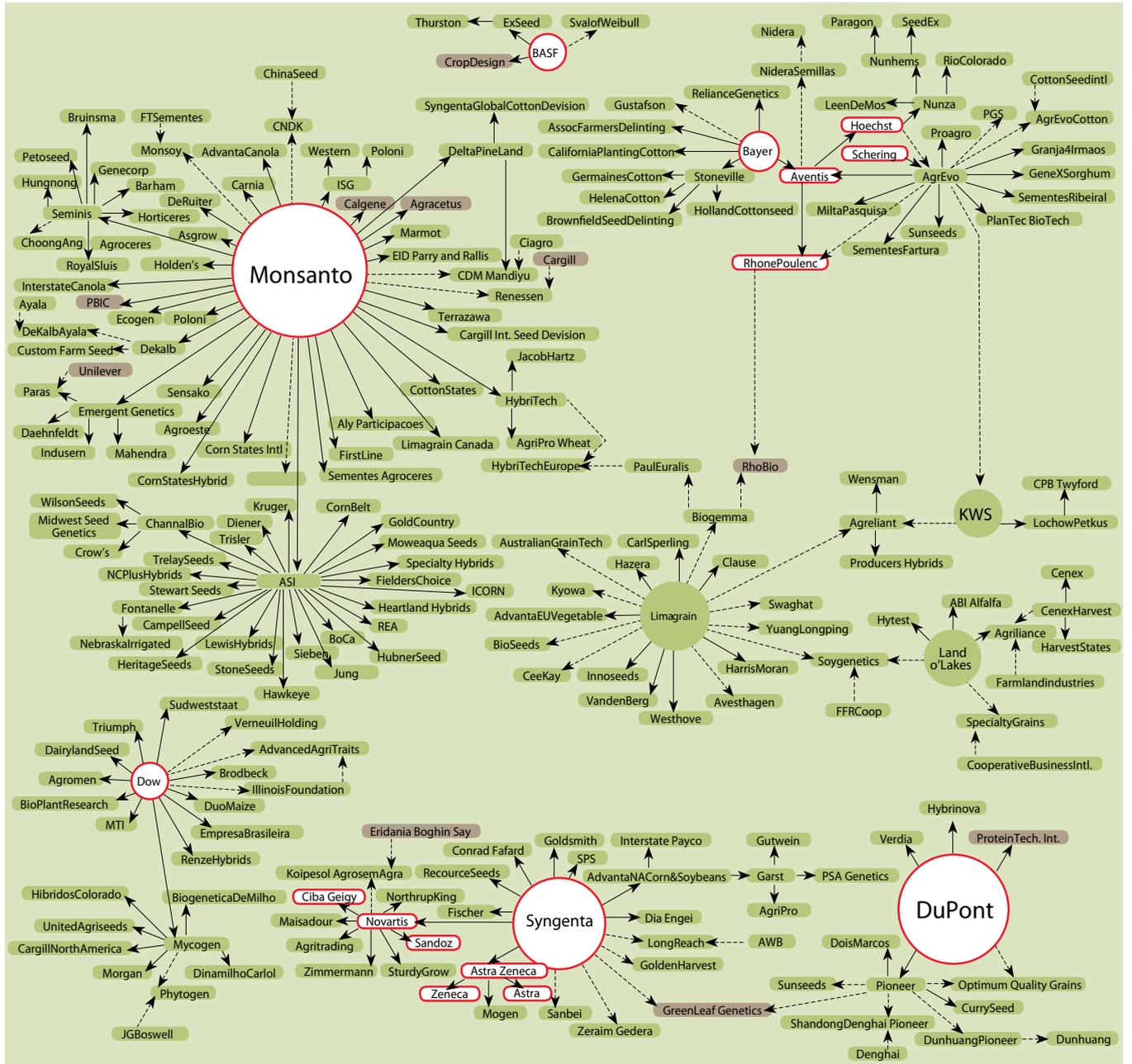
tanto, tenía sentido emplear este conocimiento metódico para el desarrollo de productos fitosanitarios y sustancias activas farmacéuticas y también para crear características nuevas en plantas de cultivo agrícola. Al patentar estas características se ha excluido a las plantas con estas nuevas propiedades de uso por otras empresas dedicadas a la mejora vegetal pero también se ha dejado fuera la posibilidad de resiembra de la cosecha por parte de los agricultores. Al mismo tiempo, para fidelizar al cliente, se ha desarrollado la idea de vender conjuntamente la semilla y el tratamiento fitosanitario (Harl, 2000). Hoy en día la venta de semillas está dominada globalmente por unas pocas empresas. Las tres empresas más grandes Monsanto, DuPont y Syngenta controlan el 53% del mercado global de semillas patentadas (ETCgroup, 2011). Mientras tanto se ha establecido especialmente en los países desarrollados una fuerte concentración de la propiedad de los derechos sobre variedades de los cultivos más importantes (trigo, maíz, soja, batatas, Ryegrass, y colza). Globalmente, las empresas Top-10, reparten entre sí algo más del 40% de los certificados de protección de variedades del trigo y hasta el 70% en caso de colza y maíz. A raíz de esta evolución la pérdida de variedades es significativa. Además las empresas líderes en el mercado de semillas prefieren trabajar con métodos de ingeniería genética. La concentración en el mercado, estructuras y técnicas contradicen los principios de sostenibilidad de la AE.

## Estrechamiento genético en las especies vegetales de uso alimentario



Fuente: modificado de Haussmann y Parzies (2009)

# Estructura de la industria de semillas de cultivo en el año 2008



- Compañía de semillas de cultivo
- Compañía farmacéutica/química
- Otra Compañía
- Plena propiedad
- Propiedad parcial
- Gran proporción de la cuota del mercado global

Gráfico de AGROPOLY, Declaración de Berna, abril 2011, modificado de Howard (2009), [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)

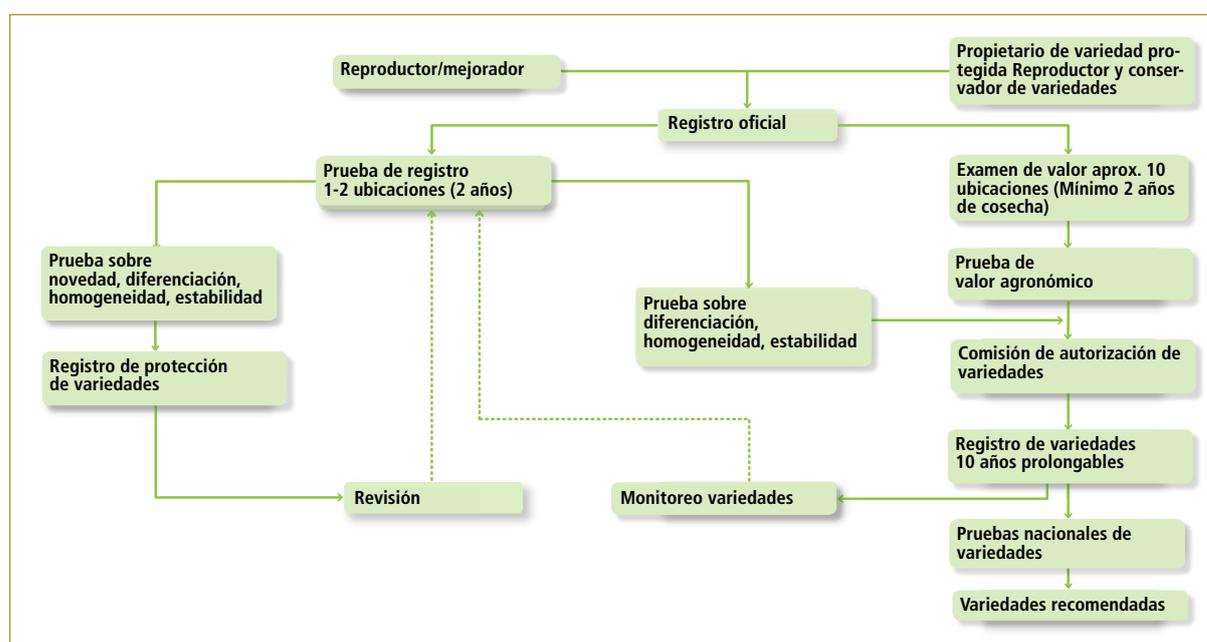
## Marco Legal

### Protección de variedades

El actual marco legal para la mejora vegetal, multiplicación de semillas y la comercialización está compuesto por una gran variedad de directrices, convenciones, directivas y reglamentos a nivel nacional e internacional. Un paso importante en el camino hacia una ley que protege las obtenciones vegetales fue el acuerdo internacional para la protección de nuevas variedades de plantas (UPOV) del 2 de diciembre 1961 ([www.upov.int/upovlex/de/upov\\_convention.html](http://www.upov.int/upovlex/de/upov_convention.html)). Este acuerdo establece reglas internacionalmente uniformes para la protección de variedades de plantas. El acuerdo UPOV proporciona una protección de la propiedad intelectual sui generis, especialmente desarrollada y adaptada para la mejora vegetal y que otorga a la empresa que reproduce la planta, el derecho exclusivo de uso de esta variedad. Para amortizar los esfuerzos de investigación y desarrollo la empresa puede exigir regalías a otras empresas que reproducen las semillas por encargo. Sin embargo, el permiso de la empresa no es necesario cuando las empresas de mejora vegetal usan la variedad protegida como base para el desarrollo de nuevas variedades (exención de mejoradores) y cuando el agricultor multiplica sus propias semillas (privilegio de agricultores). Según país y superficie de producción, se establecen así llamadas tasas de multiplicación. Estas exenciones forman la parte central del acuerdo UPOV (Le Buanec, 2006) y las diferencian sustancialmente de las patentes. Para lograr una expedición de protección, una variedad tiene que ser distinguible, suficientemente homogénea, estable (genéticamente), nueva y disponer de un nombre (Miedaner, 2010). Los tres primeros criterios son examinados

en las pruebas de registro (DHS Prueba para la distinción, homogeneidad y estabilidad). Estas pruebas de registro se concentran principalmente en características morfológicas que no tienen porqué ser interesantes desde el punto de vista agronómico. Más allá de esto las leyes nacionales sobre la circulación de semillas regulan la autorización de comercializar una determinada variedad. En casos de cultivos agrícolas la autorización de una nueva variedad depende de su "valor agronómico nacional", en comparación con cultivos ya autorizados. Las características consideradas para la definición de los valores agronómicos nacionales están controladas por las oficinas nacionales y europeas de las obtenciones vegetales. En la mayoría de los países esta evaluación se realiza en condiciones convencionales y enfocada principalmente en el rendimiento. En este sentido el sistema es muy eficiente, protegiendo bien las variedades existentes y efectuando así el desarrollo de variedades nuevas. Sin embargo, el sistema actual sólo cubre parcialmente las necesidades de la Agricultura Ecológica, por su alineación con variedades que tienen una amplia distribución geográfica y una utilización masiva en el mercado. (Borgen, 2009; Lammerts van Bueren *et al.*, 1999; Rajaram and van Ginkel, 2001). Una variedad con una homogeneidad demasiado baja puede provocar que la misma no pueda ser protegida, ni comercializada. Por lo tanto, muchos de los esfuerzos se están realizando para cambiar el proceso de aprobación de variedades y abrir así la posibilidad de comercialización para variedades genéticamente heterogéneas pero más adaptables. Desde el 1 de julio 2010 Suiza permite la autorización de este tipo de variedades, como "variedades sectoriales" sin las pruebas de registro obligatorias.

### Procesos para la autorización y protección de variedades



Fuente: modificada de [www.saatgut-austria.at](http://www.saatgut-austria.at)

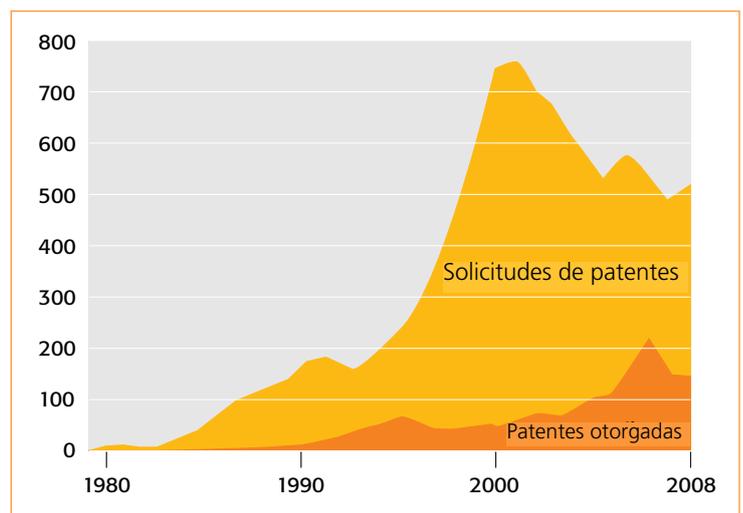
Mientras que en el anterior acuerdo de UPOV de 1978 la excepción para las empresas mejoradoras de plantas y el privilegio del agricultor estaban bien atados, con el nuevo acuerdo-UPOV de 1991 el derecho de otras empresas a usar variedades protegidas para la investigación restringida y los privilegios de los agricultores salen limitados. Los agricultores pueden multiplicar las variedades protegidas para el uso propio, pero no pueden intercambiar las semillas, ni venderlas. Antes de la implantación de la UPOV 91 las empresas de mejora vegetal tenían que elegir entre la ley de Obtenciones vegetales o la patente para la protección de sus variedades. Con la UPOV 91 las variedades pueden estar protegidas por derechos del obtentor así como por una patente. Además se ha extendido la protección de la variedad a todos los géneros y especies y la ley otorga el derecho de multiplicación de la variedad a un solo propietario. Las voces críticas con el cambio de reglamento temen una desventaja en especial para los pequeños productores. Ellos, legalmente, no pueden comercializar sus variedades nacionales y adaptarlas en su explotación a sus propias necesidades (on-farm-selection). En general esto puede conducir a un empobrecimiento a nivel genético y una limitación de la diversidad de las plantas de cultivo.

## Patentes

En los Estados Unidos existen, aparte de los derechos de los obtentores (Plant Breeders' Rights), patentes de uso de plantas y patentes vegetales. En la Comunidad Europea todavía es muy controvertido patentar plantas y semillas. Las patentes otorgadas en Europa se han limitado, tradicionalmente, a organismos modificados genéticamente, recientemente unas solicitudes de patentes para brécol, melones y tomates no modificados genéticamente han causado un gran revuelo. Según el Art.4 Parrafo1(a) del Reglamento UE de patentes 98/44/UE, las variedades de plantas y razas animales están excluidas de ser patentadas. Una variedad está marcada por la totalidad de su genoma y se define por la expresión de las características resultantes de un tipo de genoma determinado o una combinación de tipos de genoma. Sin embargo, se pueden patentar plantas y animales debajo o encima de un nivel de una variedad o raza. Además, los métodos son patentables en relación con más de una variedad o raza. Los "métodos fundamentalmente biológicos para la reproducción y mejora de plantas y animales" quedan excluidos de ser patentados, según el Art.4 del Reglamento UE. Lo mismo se aplica según art.53 del acuerdo europeo sobre patentes: "No se otorgan patentes europeas para... variedades de plantas y razas de animales y a métodos sustancialmente biológicos para la multiplicación de plantas y animales. Esto no se aplica para métodos microbiológicos y productos obtenidos con la ayuda de estos métodos". Sin embargo, en abril 2011 la Oficina Europea de Patentes ha otorgado una patente a melones resistentes contra un virus (EP1962578). Esta resistencia, originalmente ocurre en una variedad de melones procedentes de la India, y puede ser transferida a otras variedades por vía de multiplicación convencional o por

modificación genética. En este caso se reclama un derecho sobre el producto, basándose en el procedimiento. En algunas reivindicaciones de las patentes de "brécol" y "tomates" las plantas están definidas como resultado de los métodos de multiplicación aplicados (en caso del brécol un método llamado "Smart Breeding"). La práctica actual de la Oficina Europea de Patentes (OEP) parte aparentemente de la posibilidad de patentar plantas, incluso si se basan en una reproducción y mejora convencional. Así la EPA no tiene objeciones fundamentales en contra de una patente para un tomate con pocas semillas. La descripción de su mejora está basada en gran parte en métodos convencionales. (EP1026942) ([www. bmelv.de](http://www.bmelv.de) «Biopatente-Product-by-Process»). Mientras tanto se han otorgado centenares de patentes sobre plantas ([www. no-patents-on-seeds.org/de](http://www.no-patents-on-seeds.org/de)). Con la aplicación de la Ley de Patentes a la mejora vegetal habrá restricciones de gran alcance en el uso de la diversidad genética, provocando la derogación de la exención del obtentor y la prevención de cualquier tipo de multiplicación. Además en muchos casos las patentes incluyen todos los niveles de la cadena de valores – desde el campo hasta el alimento procesado – y aumentan así la dependencia de los productores. El entorno de la AE y también en gran parte de la comunidad de los consumidores rechaza otorgar patentes a seres vivos y a alimentos básicos.

**Cantidad de solicitudes de patentes para plantas reproducidas y patentes otorgadas por la Oficina Europeo de Patentes**



Fuente: modificado de Then y Tippe (2009), [www.no-patents-on-seeds.org](http://www.no-patents-on-seeds.org)

## Organismos Genéticamente Modificados

Según la Federación Internacional de Movimientos de Agricultura Ecológica (IFOAM) y del Reglamento Marco de AE (UE) nº 834/2007 del Consejo del 28 de junio 2007, hasta ahora en la AE solamente está autorizado el uso de variedades que no han sido modificadas genéticamente. Las plantas genéticamente modificadas en el marco de la UE-Directiva 2001/18/EG DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO o según la Ley Suiza de Tecnología Genética están sujetas a los requisitos de etiquetado legales. Hasta ahora, sin embargo, existe el problema que la definición por ley es diferente a la definición de la IFOM. Mientras las plantas que se han obtenido a través de fusiones celulares, en la legislación Suiza no cuentan como Organismos Genéticamente Modificados (OGM), en la Ley Europea sí están clasificadas como OGM si las plantas participantes en la fusión no se pueden cruzar con técnicas convencionales de reproducción. Según IFOAM, sin embargo, las fusiones celulares son atribuibles a la técnica genética y las variedades obtenidas no pueden ser utilizadas en la AE. Las variedades

resultantes de fusiones celulares como por ejemplo muchas variedades híbridas de coliflor, brécol y otras verduras no están sujetas a un etiquetado informativo lo que produce mucha incertidumbre en el mundo de la AE. El Consorcio Europeo para la Mejora Ecológica de Plantas (ECO-PB) ha hecho un gran esfuerzo en la búsqueda de una solución a nivel europeo, para excluir estas variedades de la Agricultura Ecológica. Mientras tanto muchas organizaciones han prohibido en sus reglamentos el uso de las variedades desarrolladas con la ayuda de fusión celular, aunque esta decisión ha provocado a corto plazo una fuerte restricción de la oferta de variedades a elegir y una disminución de la oferta en el lado de los productores. Las diferentes definiciones para las modificaciones con técnicas genéticas han causado mucho resentimiento en el mundo de los mejoradores convencionales y en el de los investigadores. Estos, en muchas ocasiones, no son conscientes de usar técnicas de mejora, rechazadas por la AE.

## Estrategias para una elección optimizada de variedades

El Reglamento UE Nº 834/2007 exige en la práctica de la AE el uso exclusivo de semillas y materiales de reproducción ecológica. Para este propósito, en caso de semillas, la planta madre y en caso de material vegetativo, las plantas padres, su producción está sujeta a este reglamento por lo menos durante una generación o en caso de cultivos perennes durante dos periodos de crecimiento. Las semillas reproducidas así están clasificadas como Semillas Ecológicas o Bio-Semillas, pero esto no quiere decir nada sobre el tipo y la forma de creación de esta variedad y si esta variedad es apropiada para la AE (ver abajo). Como excepción está permitido el uso de semillas no tratadas y no ecológicas, si no hay disponibles semillas de reproducción ecológica. Así actualmente están autorizadas en la AE todas las variedades cuyas semillas o material vegetal fueron multiplicados ecológicamente y no han sido manipulados genéticamente o excluido a nivel de organización nacional. A nivel de variedades se puede distinguir las siguientes categorías (Wolfe *et al.*, 2008):

### I Programas de Mejora Convencional

En los programas de mejora convencional de plantas se practica la selección y multiplicación en ubicaciones gestionados convencionalmente con la aplicación de semillas tratadas, herbicidas, etc. y con un suministro de nutrientes optimizado. El desarrollo de las variedades está orientado a las necesidades de los grandes mercados de producción convencional. Suponiendo un mismo comportamiento de las variedades en sistemas convencionales y ecológicas, las mejores variedades de estos

programas son cultivadas frecuentemente también en la AE.

### Ejemplos:

Cereales:	Agroscope Changins-Wädenswil, INRA Francia, KWS-Lochow
Frutales:	Agroscope Changins-Wädenswil, Institut für Züchtungsforschung Dresden-Pillnitz

### II Programas de mejora para la AE orientados al producto

Los programas de mejoramiento vegetal ecológico, orientados a la AE integran sus principios y no usan métodos o técnicas de Ingeniería Genética en los programas en curso. No se usan métodos de técnica genética (incl. la fusión de células). Normalmente los cruces y selecciones tempranas se realizan bajo condiciones convencionales de cultivo. Las pruebas con las generaciones posteriores se realizan en condiciones convencionales y ecológicas. La selección conservadora y la producción de semillas precursoras y básicas se hace bajo condiciones convencionales. La multiplicación para las semillas certificadas se realiza exclusivamente en condiciones ecológicas.



## Técnicas para la mejora y multiplicación de plantas

### ¿Cómo se mejora y como se multiplica?

La mejora vegetal es el conjunto de todas las actividades para la mejora de las propiedades genéticas de una planta cultivada. El arte de la mejora vegetal consiste en descubrir en una planta de cultivo nuevos valores característicos importantes y combinarlas con otras características. Se trata de encontrar para una gran cantidad de características deseadas... la mejor solución...

### Fases del programa de mejora y su influencia en la diversidad genética



A tal efecto hay que coleccionar plantas madres, en muchos casos de otras variedades o variedades silvestres de la misma familia con características determinadas. Para obtener plantas con la combinación de características deseadas hay que cruzar las plantas madres. El resultado de tal cruce es una cantidad grande de semillas con una constitución genética diversa (población segregante). Así, en las próximas generaciones hay que seleccionar las plantas con las mejores características combinadas. Para simplificar esta elección los reproductores disponen de diferentes técnicas para elegir las características deseadas según el cultivo y la forma de multiplicación (autopolinización, de polinización cruzada o con multiplicación vegetativa). Se debe garantizar la transferencia estable de las características específicas a las plantas descendentes. Con frecuencia se necesitan entre 6 y 10 generaciones.

En las pruebas oficiales se determinan las propiedades de variedades nuevas comparandolas con variedades control o locales cultivadas paralelamente. Si la variedad se distingue de todas las variedades existentes y además sus características son homogéneas y estables en el tiempo y tiene nombre, se puede obtener una protección de variedad vegetal. Para la autorización de la variedad, según la Ley sobre el Comercio de Semillas la mayoría de las variedades usadas en la agricultura deben tener además un valor agronómico nacional, quiere decir, una ventaja en una o varias características en comparación con variedades ya autorizadas.

### Distinción general de técnicas de mejora

La mejora de plantas se caracteriza por tres áreas:

- > **Producción de variaciones genéticas** a través de colección de recursos genéticos, mutación y combinación nueva de genes
- > **Selección de la variación genética** los mejores tipos con la múltiple combinación deseada
- > Conservación y **multiplicación** de las mejores variedades

En cada uno de los tres pasos pueden ser aplicadas diferentes técnicas a los diferentes niveles de la planta:

- > **A nivel de la planta**, es decir: Planta única, la descendencia, la población
- > **A nivel de tejido**, partes de la planta, órganos, cultivos de células
- > **A nivel de la célula**, es decir: de la célula aislada, del protoplasma, del polen, del óvulo
- > **A nivel del ADN (Acido Desoxirribo Nucleico)**, es decir: el ADN del núcleo, el ADN extra cromosómico.

Las técnicas también se pueden diferenciar según el medio donde se aplica las mismas:

- > Ensayos de campo con interacciones de suelo y clima (p.ej., bajo condiciones de Agricultura Ecológica).
- > Ensayos en macetas en sustrato artificial bajo condiciones estandarizados (p.ej., cultivo Hor-sol en invernadero)
- > Ensayos *in vitro* con medio nutritivo artificial en condiciones estériles (p.ej., Meristemo, cultivos de hojas)
- > Suspensiones celulares (p.ej., Cultivos de protoplastos)

En las siguientes páginas se explica más a fondo las técnicas de mejora y multiplicación, mostrando sus aplicaciones y abordando sus puntos críticos bajo la perspectiva de la AE.

**Pasos en la mejora, con el ejemplo de los tomates - representación simplificada**



Se castra la flor de una planta de tomate seleccionado...



... mientras se recoge el polen de otra planta de tomate seleccionado.



Para la fecundación, el polen se transfiere en la pluma. Este cruce produce variabilidad en la descendencia.



Los descendientes se seleccionan de acuerdo con ciertos criterios, por ejemplo, por resistencia a las enfermedades, el sabor o el rendimiento.



Después de un largo período de prueba se propaga la nueva variedad...

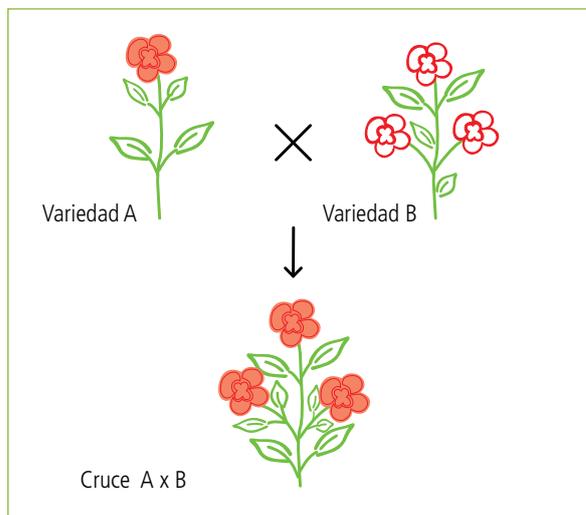


... para obtener semilla comercial.

## Generación de variación genética

Técnicas a nivel de planta

**Cruzamiento dirigido dentro de la misma especie (intraespecíficos)**



**Ejemplo: cruce de variedades trigo**



*Preparación de una flor (castración) ...*

### **Método:**

Para controlar la polinización de las plantas y producir cruzamientos intraespecíficos, se esterilizan, aíslan y espolvorean los brotes de las plantas madre en el momento de la floración con polen de la planta padre deseada. Esto se hace bien con un pincel o bien por la distribución del polen recogido anteriormente en la flor femenina castrada y con ello alcanzar el estigma. En esta técnica, es muy importante una sincronización de la floración debido a que por lo general el estigma está listo para concebir sólo un corto período y el polen también es viable por poco tiempo. Para lograr esta sincronización, se trabaja a menudo con siembras escalonadas, o en algunos casos se seca y congela el polen. Si los cruzamientos se hacen con el material no seleccionado o con variedades semisilvestres, a menudo se obtienen semillas no adaptadas y deben llevarse a cabo retrocruzamientos. En éstos los individuos obtenidos se vuelven a cruzar varias veces con el material inicial. Así surgen variedades muy similares al material de partida, pero con nuevas características propias de la línea donante.

### **Aplicación:**

Los cruzamientos dirigidos son una práctica común en el fitomejoramiento para aumentar la diversidad genética a través de la recombinación de los genes y de combinar las características del padre y la madre. A través de cruzamientos intraespecíficos se producen una infinidad de nuevas combinaciones de genes que pueden conducir a una mejor adaptación de la planta al medio ambiente y a los derechos de las personas.

### **Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:**

Ninguno

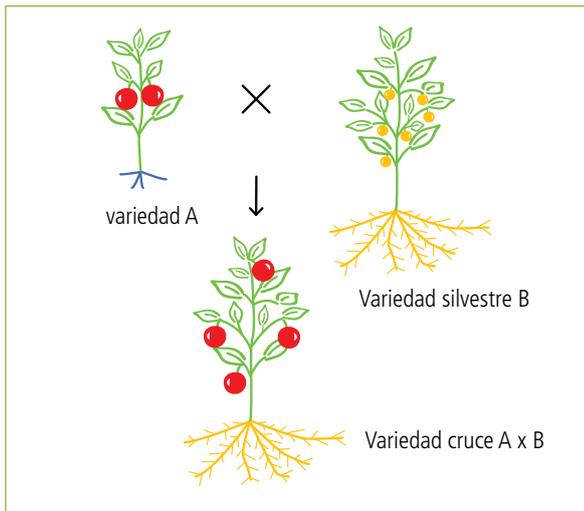


*... Polinización a mano ...*



*... y protección de la flor contra el polen extraño con pequeñas bolsas después de la polinización.*

## Cruzamientos interespecíficos



### Método:

Si la variación genética dentro de un cultivo no es suficiente para lograr su mejoramiento, se pueden realizar cruces entre dos especies diferentes. Los cultivos relacionados o las especies silvestres pueden cruzarse entre sí con mayor o menor esfuerzo. Mientras que las especies cercanas (p.ej.: trigo y centeno) se pueden cruzar sin problemas, los cruces con especies más distantes conducen a menudo a la formación de un endospermo débil y un pobre suministro de nutrientes para el embrión. Para aumentar la tasa de éxito de los embriones viables que se pueden utilizar diversos métodos *in vitro* (ver más abajo). Si hay diferencias entre las especies en su número de cromosomas, se debe realizar retrocruzamientos con las especies de cultivo hasta que se consiga producir una descendencia fértil y genéticamente estable. Con ello se suelen eliminar varios cromosomas. En cruces interespecíficos, se pueden agregar partes de genomas de forma espontánea, de manera que se forman especies aloploidoides (p.ej.: trigo, colza, etc.). En la "técnica del polen mentor", el polen de la planta madre receptora sirve de vía de entrada para el polen de la otra línea parental. El primero es esterilizado con radiación para evitar que fecunde a sus propios óvulos, aunque mantiene su capacidad germinativa y de emisión del tubo polínico. El tubo polínico de este polen mentor transfiere el polen intacto del padre deseado a los óvulos, que luego son fertilizados. En la "técnica de la aguja", el pistilo de la madre se corta parcialmente, de manera que el polen del tubo polínico del padre sólo tiene que superar una distancia corta con el fin de fertilizar el óvulo.

### Aplicación:

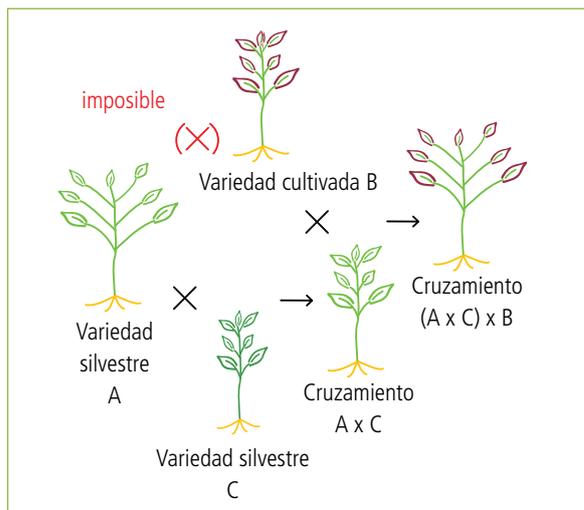
Los cruces interespecíficos son una práctica común. Mediante cruces interespecíficos se amplía el acervo genético disponible para los mejoradores. Muchos de los genes de resistencia en las especies cultivadas proceden de especies silvestres, como por ejemplo, la introgresión de genes de resistencia a la sarna del

manzano, desde el manzano silvestre al cultivado o la resistencia a roya de la hoja desde plantas silvestres el trigo. Por cruces interespecíficos surgieron nuevos cultivos, como la colza, el triticale, bayas y muchas plantas ornamentales.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- › Las barreras de cruzamiento, no son límites claramente definidos entre especies, pero aumentan con la diferenciación entre ellas. Es decir, la posibilidad de fecundación y formación de semilla con éxito disminuye con la distancia genética entre ellas.
- › Con ayudas técnicas, tales como la fecundación *in vitro* de células y granos de polen, o por el cultivo *in vitro* de embriones tras la fecundación, pueden, en algunos casos, superarse esas barreras.

## Cruzamiento puente



### Método:

Para superar las barreras de cruzamiento entre dos especies de plantas no compatibles, por ejemplo, una especie silvestre A y una especie cultivada B, se puede realizar una introgresión (cruzamiento) de una tercera especie vegetal C que sea compatible con las otras dos especies de plantas.

La especie silvestre A se cruzará inicialmente con la especie C. Posteriormente se seleccionan los descendientes con las propiedades deseadas y se cruzan con la especie cultivada B.

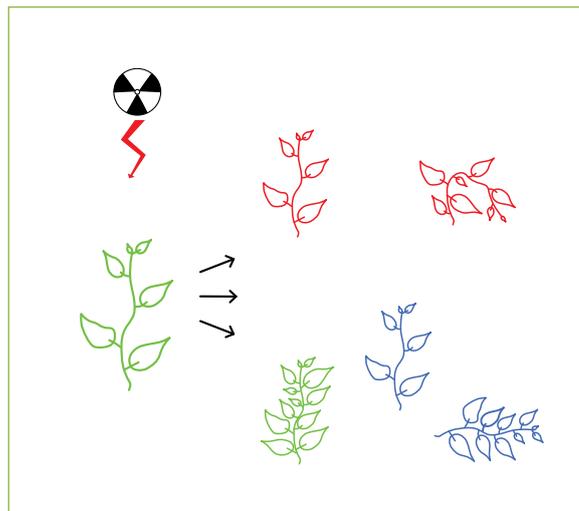
### Aplicación:

Con este método (cruzamiento puente) se pueden cruzar especies vegetales incompatibles entre sí, por ejemplo, del género de las brassicas. Este método se puede aplicar cuando las características deseadas son fáciles de seleccionar. Realizar este tipo de cruzamientos requiere mucho más tiempo. Después de seleccionar la propiedad deseada, se deben realizar varios retrocruzamientos para eliminar las características no deseadas.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Mutación espontánea



### Método:

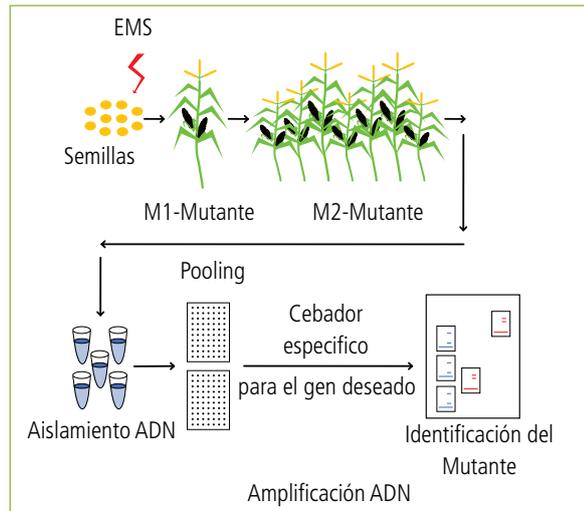
A menudo las nuevas características en las especies vegetales aparecen por mutación, es decir, por cambios en el Ácido Desoxirribonucleico (ADN). Las mutaciones pueden ocurrir de forma espontánea durante la división de las células (p.ej.: por errores en la replicación del ADN), o provocadas de forma artificial por estímulos físicos (p.ej.: Rayos UV, shocks de frío o calor, Rayos X, Irradiación con Neutrones) o por sustancias químicas (p.ej.: Metasulfonato de Etilo). Para inducir mutaciones se utilizan partes de la planta (semillas, polen, tubérculos o brotes) o plantas enteras que se exponen a los agentes apropiados con el fin de aumentar la tasa de mutación. Mientras que la mutagénesis química ocasiona principalmente mutaciones puntuales (cambios de bases de ADN individuales), en la radiación ionizante aparecen rupturas cromosómicas. Esto favorece las llamadas mutaciones cromosómicas como la pérdida (deleción), la inserción incorrecta (traslocación, inversión) o la duplicación adicional de partes de cromosomas (duplicación). En el tratamiento químico con colchicina, todo el conjunto de cromosomas se duplica (mutación del genoma).

Si la mutación se produce en el germen (polen, óvulos o embriones), es heredada por la descendencia que debe ser examinada para ver si las mutaciones son estables. Sólo una pequeña proporción de plantas mutantes es prometedora para el desarrollo y mejoramiento posterior, ya que la mayoría de las mutaciones tienen efectos negativos.

### Aplicación:

La inducción de mutaciones se utiliza sobre todo cuando se quieren mejorar características particulares. Aumentando la tasa de mutación aumenta la probabilidad de encontrar características nuevas deseadas. En muchos casos, el mejoramiento por mutación se ha utilizado para generar nuevas resistencias.

## Tilling



Mientras que en los años 60, se llevaron a cabo un sinnúmero de experimentos con rayos gamma (Cobalto 60) o neutrones rápidos hoy en día se utiliza principalmente mutagénesis química. Esto dio lugar a más de 1.800 nuevas variedades, como la cebada resistente al óidio, cebada cervecera con mejor calidad de malteado, trigo con tallo corto, colza con modificación de sus patrones de ácidos grasos y varias plantas ornamentales. A menudo, la inducción de las mutaciones se combina con la selección *in vitro* en la resistencia a salinidad, metales pesados u otros compuestos químicos tóxicos para la planta.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE

- > La radiación ionizante y la mayoría de preparados de la mutagénesis química no están permitidos actualmente en la AE y no deben aplicarse ni afectar a las partes reproductivas de las plantas (ovocélula, polen o embriones).
- > Las roturas cromosómicas inducidas dañan la integridad del genoma

### Método:

La inducción de Lesiones Locales Dirigidas en Genomas (Tilling, en inglés), es un desarrollo de la mutagénesis clásica.

El tilling consiste en provocar mutaciones, generalmente con sulfonato de etilo, y posteriormente seleccionar las mutaciones puntuales en un gen específico. El método permite el ensayo de un número muy grande de potenciales mutantes con procedimientos de alto rendimiento. Sin embargo, las mutaciones se pueden detectar sólo en aquellas partes del ADN que se han secuenciado. Con el tratamiento con productos químicos mutagénicos no sólo se provoca la mutación puntual deseada, sino también mutaciones en todo el resto del genoma. Por lo tanto, la característica mutada deseada debe ser transferida por retrocruzamiento a variedades estables.

Una variante del tilling es el eco-tilling, que evita la utilización de productos químicos que provocan la mutación. En su lugar, las mutaciones deseadas (surgidas espontáneamente) son buscadas en una gran colección de material reproductivo y bancos de germoplasma.

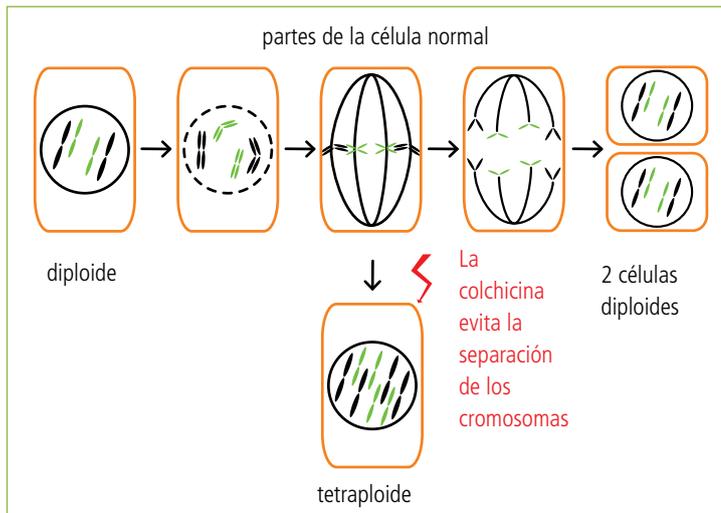
### Aplicación:

El incremento del conocimiento de las funciones de genes o alelos permite encontrar eficientemente nuevas variantes de caracteres deseados, que luego pueden ser transferidos al material de mejora. Utilizando esta tecnología, por ejemplo, se ha desarrollado una variedad de patata que produce sólo amilopectina (almidón), un tomate con resistencia a la salinidad, variedades de trigo sin gluten y variedades de maíz y soja tolerantes a la sequía.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > La mayoría de productos usados actualmente en la mutagénesis química no están permitidos en AE y no debe aplicarse en la parte reproductiva de las plantas (ovocélula, polen o embrión).

## Poliploidización



### Método:

En la poliploidización se incrementa el número de cromosomas de una especie vegetal. Mientras que la mayoría de las especies son diploides y tienen dos copias de cada cromosoma, con la duplicación de los cromosomas aparecen cuatro copias, p.ej., plantas tetraploides. La duplicación de los cromosomas afecta a la totalidad de los genes de un genoma, y también se conocen como mutaciones del genoma. En la naturaleza, en una variedad poliploide, se hace distinción entre autoploidía cuando el conjunto duplicado de cromosomas es de una misma especie (por ejemplo, en la AAAA patata tetraploide) y alopoliploidía cuando varios genomas diferentes contribuyen a generación de la especie, tales como el trigo hexaploide, que tiene tres genomas diferentes (AABBDD).

La poliploidía puede ocurrir espontáneamente o ser inducida por productos químicos (por ejemplo, colchicina). Las plantas autoploidoides generadas suelen ser más vigorosas y robustas con frutos más grandes que las plantas diploides.

### Aplicación:

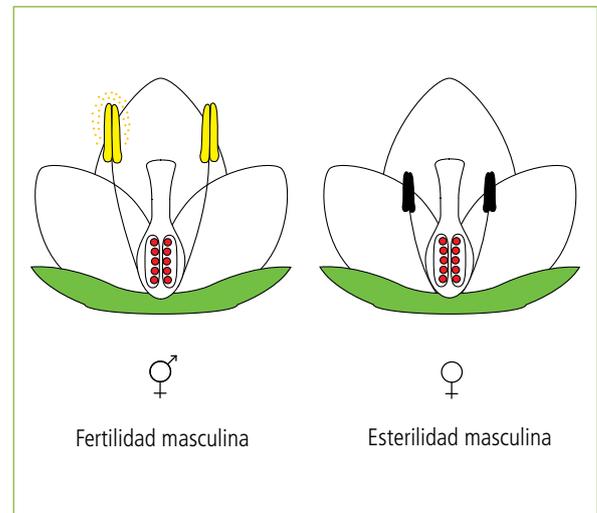
La poliploidización se utiliza para producir cultivos más resistentes y de mayor rendimiento (por ejemplo centeno autoploidoides, trébol rojo) para restaurar la fertilidad de los cruces interespecíficos (triticale alopoloide, canola, algodón) y desarrollar las plantas doblehaploides (ver más adelante).

Para generar frutos sin semillas, se requiere en cualquier caso líneas de cruzamiento tetraploides.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Si se cruzan plantas tetraploides con plantas diploides, la descendencia es triploide y estéril (útil para cultivos sin semilla).
- > Los inhibidores de la mitosis más comúnmente utilizadas, como la colchicina sintética y el herbicida Oryzalin, no están permitidos en AE.

## Esterilidad masculina citoplasmática (CMS)



### Método:

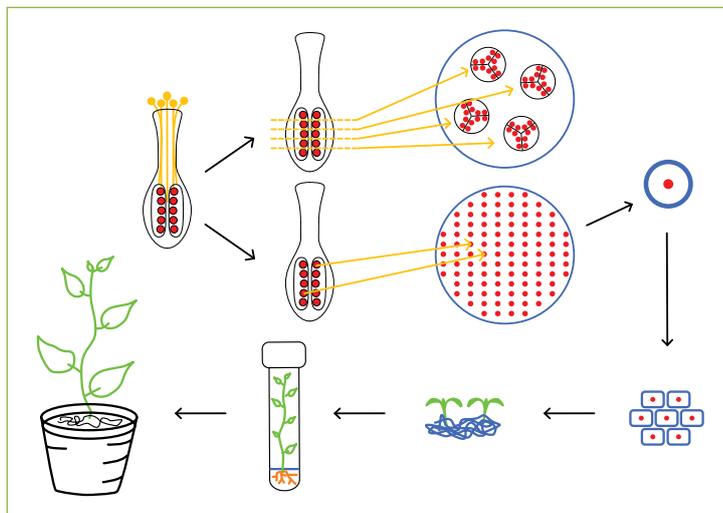
En la esterilidad masculina citoplasmática (CMS, del inglés Cytoplasmic Male Sterility) se produce un desarrollo incompleto de los órganos florales masculinos debido a una disfunción de las mitocondrias. Este mal funcionamiento se produce cuando se interrumpe la interacción entre el genoma nuclear y ADN mitocondrial.

En la naturaleza se produce CMS por mutaciones espontáneas en las mitocondrias. Dependiendo de la mutación, o bien no se producen anteras, o éstas tienen los sacos polínicos degenerados o simplemente se forma polen incapaz de germinar. Las mitocondrias se heredan maternalmente a través del óvulo. En muchos casos, la fertilidad masculina se puede restablecer cruzando con plantas con genes restauradores. La CMS es mucho más fácil de integrar en el proceso de mejora que la androesterilidad nuclear. Para producir un híbrido, la línea A se cruza con una planta estéril con las mitocondrias mutadas que actúa de madre. La descendencia será androestéril. Mediante sucesivos retrocruces se puede crear una versión androestéril de la línea A (línea CMS). La línea A estéril se hace crecer junto con una línea fértil B. Al florecer ambas líneas al mismo tiempo, las semillas que se recolecten de la madre A serán, con toda seguridad, híbridas AxB. Para obtener descendencia fértil de esa semilla híbrida y producir cosechas en cuanto a flores o frutos es necesario que la línea B contenga genes restauradores. Para hortalizas como la coliflor esto no es necesario pues se recolectan las cabezas florales y no los frutos o las semillas.

### Aplicación:

La CMS es en muchos casos un requisito previo para la producción a gran escala de semillas híbridas de colza, centeno y muchas especies hortícolas.

### Cultivo de ovarios y embriones



#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE

- > El caso de variedades híbridas, cuya fertilidad no fue restaurada por el mejorador, no se puede obtener descendencia. No hay reproducción posible. Estas variedades sólo pueden utilizarse como planta madre para generar los híbridos. La esterilidad masculina se transmite a la descendencia.

#### Método:

En los cruces interespecíficos (ver secciones anteriores), a menudo los endospermos no se forman correctamente y por lo tanto no sustentan adecuadamente al embrión.

Para aumentar la tasa de éxito de embriones viables se utiliza por ejemplo el método de cultivo de embriones (rescate de embriones). En este caso, después de la fertilización interespecífica, se aísla el embrión de la flor y se coloca en un medio de cultivo *in vitro* para su germinación. De esta manera, el rendimiento en la obtención de cruces interespecíficos puede aumentar. En el cultivo de ovarios se pone el ovario o sus partes fertilizadas sobre un sustrato. Los óvulos se hinchan y en una etapa determinada se pueden separar de los ovarios para producir semillas viables.

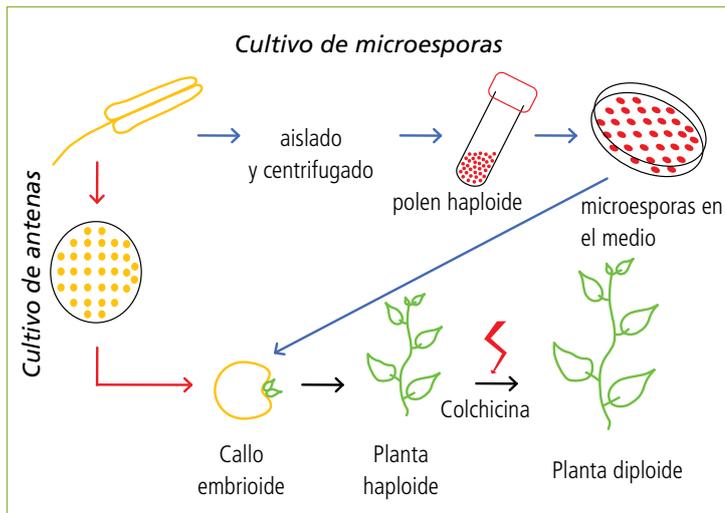
#### Aplicación:

El cultivo de ovarios y embriones se utilizan con frecuencia para introducir genes de resistencia de especies relacionadas pero genéticamente alejadas. Estas técnicas se han utilizado para los tomates, pepinos, pimientos, lechugas, trigo, triticale y muchos otros cultivos.

#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Por el cultivo *in vitro* del embrión poco después de la fertilización, las barreras de unión pueden demorarse más.
- > El desarrollo del embrión se lleva a cabo en condiciones artificiales y estériles que suelen tener lugar en medios nutritivos preparados sintéticamente.

## Generación de doble haploides (líneas DH)



### Método:

En la generación de líneas doble haploides (DH) se persigue generar líneas puras homocigóticas, a partir de progenies de cruces heterocigotos. Esto de manera clásica sólo es posible mediante la autofecundación continuada durante 5-6 generaciones. Dado que una planta diploide contiene dos conjuntos de cromosomas, en cada gen pueden estar presentes dos valores característicos (alelos). Si se reduce a la mitad el conjunto de cromosomas, sólo queda un alelo por locus. Si se duplica el conjunto de cromosomas, los valores característicos se quedan en forma puramente homocigótica. Las líneas endogámicas diploides generadas de esa manera pueden ser propagadas, permaneciendo los individuos idénticos genéticamente, a través de la autofecundación o bien, ser utilizadas como parentales de cruce para generar híbridos.

Las plantas haploides se pueden obtener, si es posible regenerar plantas enteras, a partir de polen haploide (microesporas). En el cultivo *in vitro* de anteras, se cultivan anteras inmaduras (sacos polínicos). A través de la aplicación de fitohormonas se estimula la división celular del polen inmaduro que produce ya sea una masa indiferenciada de células (callos) o los llamados embrioides, de los que se puede regenerar las plantas haploides. El cultivo de microesporas es un desarrollo de la técnica del cultivo de anteras. En éste sólo el polen inmaduro (microesporas) y no las anteras se cultivan en medio líquido. En el cultivo de ovarios se intenta tener plantas haploides de forma similar, regeneradas a partir de los ovocitos haploides.

Las plantas haploides son viables, pero poco vigorosas y estériles. Mediante duplicado cromosómico puede restaurarse la fertilidad. En algunos casos la duplicación cromosómica sucede espontáneamente durante la fase *in vitro*; en otros casos, la duplicación de cromosomas es inducida por medio de la colchicina (véase poliploidización).

Las plantas resultantes son completamente homocigotas (heredables), líneas endogámicas con conjunto

diploide de cromosomas llamados haploides duplicados o líneas DH. De forma alternativa al cultivo *in vitro*, la producción de haploides también se puede realizar mediante polinización con la llamada línea de inducción.

### Aplicación:

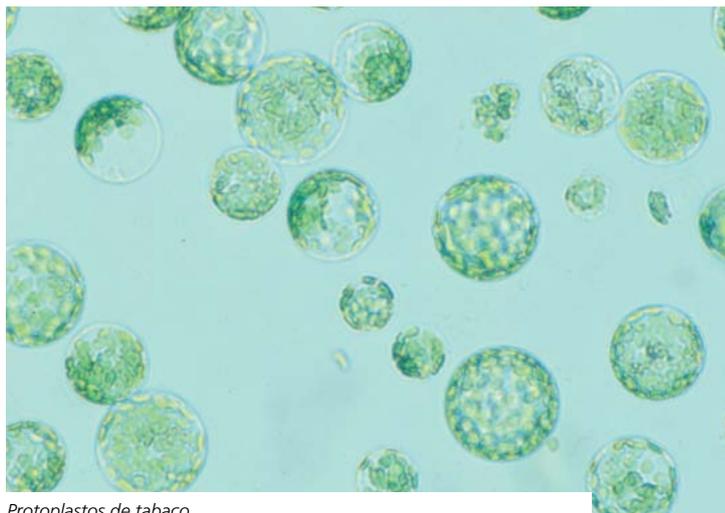
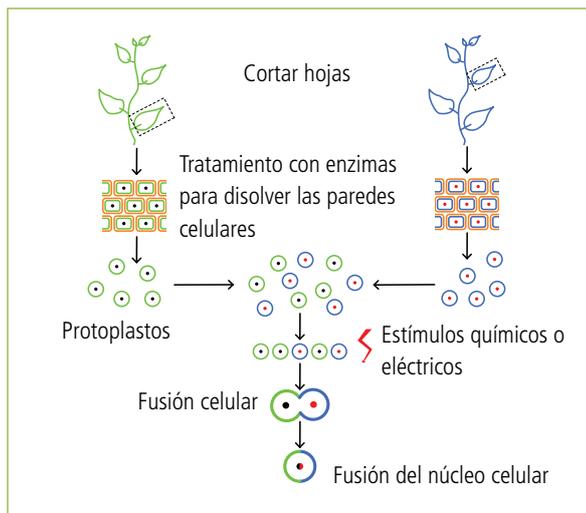
Las líneas DH se utilizan para acelerar el proceso de mejoramiento. Han sido utilizadas en cebada, maíz y patata. La generación de líneas puras homocigóticas en una sola generación es una gran ventaja, ya que se puede seleccionar para el nivel homocigoto directamente y las plantas seleccionadas y su descendencia conservará todas las características de la variedad.

En la producción de híbridos se utilizan las líneas DH para crear rápidamente líneas presentadas para obtener híbridos experimentales y seleccionar posteriormente los híbridos de mejores rendimientos.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los óvulos y el polen se transforman en células somáticas con fitohormonas. No hay fusión del óvulo y polen y por lo tanto no hay recombinación de genes.
- > La colchicina producida sintéticamente no está permitida en AE.

## Fusión de protoplastos



Protoplastos de tabaco.

### Método:

Los protoplastos son células sin pared celular. Habitualmente se extraen de fragmentos de hoja tratados con enzimas adecuadas para disolver la pared celular. Los protoplastos resultantes quedan libres en una suspensión. En la fusión celular se fusionan células somáticas. La fusión de protoplastos se efectúa, mediante la adición de ciertos productos químicos (polietilenglicol, PEG) o por pulsos de corriente eléctrica cortos (electro-fusión).

Dos células con el conjunto completo de los cromosomas, por lo general diploide, se fusionan sin la meiosis previa y la formación de los gametos. En la fusión de protoplastos, los citoplastos de ambos parentales se integran en un mismo citoplasma. Si, al mismo tiempo ocurre la fusión del núcleo de la célula, se habla entonces de la fusión del protoplastos o hibridación somática. En contraste con la hibridación gamética (fusión del óvulo y el polen) en la fusión de los protoplastos no hay una reducción del conjunto de cromosomas. Por lo tanto, el producto de fusión es generalmente tetraploide. En la fusión celular, se combinan los orgánulos de las dos células de plantas (cloroplastos y mitocondrias, incluyendo su ADN extracromosómico).

En contraste, en los cruces convencionales, por regla general sólo los cloroplastos y mitocondrias maternas se transmiten a la descendencia. Durante la regeneración y reproducción de híbridos somáticos pueden obtenerse nuevas combinaciones de cromosomas y orgánulos de ambos padres.

### Aplicación:

Con la ayuda de la fusión de protoplastos se pueden obtener rápidamente híbridos interespecíficos que de otro modo se producen sólo muy raramente o por cultivo de embriones o por cruzamientos puente.

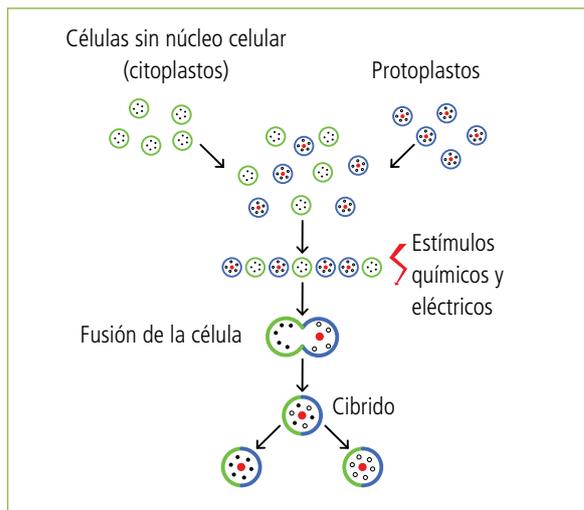
En las fusiones de protoplastos intraespecíficas se pueden combinar dos informaciones específicas de las plantas. Esto es de particular interés en las caracterís-

ticas hereditarias monogénicas, tales como los genes de resistencia, o cuando se deben combinar los rasgos genéticos nucleares con las características que se heredan citoplásmicamente.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- › Se pueden superar las barreras de cruzamiento.
- › La integridad de la célula se ve afectada por la fusión forzada de dos protoplastos.
- › En esta fusión celular se unen varios orgánulos de diferentes plantas lo que bajo condiciones naturales es poco común. Esto permite que la regulación de los genes de los padres entre el genoma nuclear y el ADN extracromosómico se vea afectada. Al retrocruzar productos de fusión tetraploide con plantas diploides surgen descendientes que son estériles (triploides).

## Fusión de citoplastos, cibrización



### Método:

La fusión de citoplastos o cibrización es un caso particular de la fusión de protoplastos. En contraste con ésta, el núcleo del protoplasto de la planta se destruye por ejemplo, con rayos X. Los citoplastos resultantes contienen todos los componentes celulares como las mitocondrias o cloroplastos, pero ningún cromosoma intacto. Posteriormente, estos citoplastos (sin núcleo funcional) se fusionan con protoplastos completos para formar los llamados cíbridos. Esta técnica también se le llama fusión celular asimétrica.

El objetivo es transmitir los plástidos extracromosómicos y el ADN mitocondrial de una variedad a otra sin cambiar los genes esenciales. Si, por ejemplo, los protoplastos de brócoli se fusionan con citoplastos de rábano, se da lugar a la interacción entre el ADN mitocondrial del rábano y los genes nucleares de brócoli, que genera plantas de brócoli con esterilidad masculina (útil para la obtención de híbridos, vease CMS).

### Aplicación:

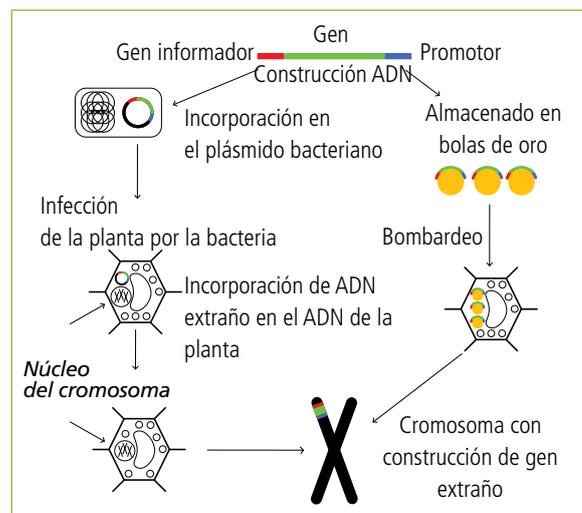
Con la fusión de los citoplastos, es posible obtener nuevas combinaciones de ADN de plastidios con genes nucleares. Ello permite transferir selectivamente aquellas características que son controladas por el plastidio. El citoplasto se utiliza para producir esterilidad masculina citoplasmática (CMS) (por ejemplo, la coliflor y el brócoli) o para integrar la resistencia individual de los parientes silvestres de las especies cultivadas (por ejemplo, patatas o arroz).

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > La integridad de la célula se ve afectada por la fusión forzada de dos células de diferentes especies.
- > En esta fusión celular se unen orgánulos de diferentes plantas individuales, algo que es extremadamente raro bajo condiciones naturales. Esto permite que la regulación de los genes de los padres entre el genoma nuclear y el ADN extracromosómico se vean afectados.
- > Se superan las barreras de cruzamiento naturales

## Técnicas a nivel del ADN

### Transferencia de genes para producir variedades transgénicas



### Método:

El objetivo de la transferencia de genes es la introducción de una nueva característica que no se da en el material genético de una variedad. Un requisito esencial para ello es la identificación y el aislamiento de los genes correspondientes. En una construcción de ADN, la secuencia del gen objetivo está vinculada a un promotor que controla la expresión del gen, así como a un gen informador que indica que la transferencia de genes se ha realizado correctamente. Como gen informador generalmente se usa una que confiere resistencia a un herbicida o un antibiótico. Las células que se transformen exitosamente expresarán este gen y podrán crecer en un medio con ese herbicida o antibióticos, mientras que las células no transformadas mueren. La transferencia de genes, o sea, la recepción de la construcción genética en el núcleo de la célula y su incorporación en el ADN de la planta, puede tener lugar por métodos directos o indirectos. En los métodos directos, la construcción con el gen se introduce directamente en la célula. En los métodos indirectos se utiliza muy a menudo *Agrobacterium tumefaciens* para transferir la construcción génica. En la transferencia de genes a través de *Agrobacterium* se incorpora la estructura del gen deseado en el ADN bacteriano, y a continuación se infectan las células vegetales con las bacterias.

Para la transferencia de genes a través del bombardeo de partículas, se recubren pequeñas partículas de oro y bolas de wolframio con el ADN y se dispara con aire comprimido a una suspensión de células o yemas de planta. En este caso la tasa de éxito de incorporación estable de ADN extraño es muy baja. En la transferencia de genes a través de la endocitosis se produce una suspensión de protoplastos de células sin núcleo, a la que se añade la estructura del gen deseado. Posteriormente, la membrana celular se permeabiliza por agentes químicos, estímulos eléctricos o shocks de temperatura de modo

que el ADN extraño puede pasar de la solución al núcleo de la célula. De estos protoplastos se regenera después la planta.

La integración de la construcción se produce en una posición aleatoria en el genoma y se pueden integrar múltiples copias. Con la integración en el genoma, se puede eliminar un gen o se puede alterar la expresión génica de genes vecinos, que son los llamados efectos de posición. Dependiendo de la construcción, los genes recién transferidos pueden ser expresados de forma constitutiva (en cada célula de la planta) o en órganos o momentos del desarrollo específicos. Esto puede lograrse mediante el acoplamiento con los correspondientes promotores. Puede suceder que el gen no se exprese a pesar de que la transformación haya sido exitosa. Una de las posibles causas es de la interferencia de ARN (véase el silenciamiento por ARN). Por lo tanto, las propiedades agronómicas de las plantas transgénicas tienen ser comprobadas cuidadosamente. Con frecuencia, deben hacerse varios retrocruzamientos con el material de transformado original hasta que las plantas transgénicas lleguen al mercado. Los genes se pueden transferir de forma individual o varios genes de forma simultánea (Piramidalización), de modo que por ejemplo un transgénico de una variedad de maíz puede tener una resistencia a un herbicida y varios genes de Bt contra varias plagas.

#### **Aplicación:**

La transferencia de genes de caracteres monogénicos puede trasladar rasgos heredables entre especies. Así, el gen Bt de la bacteria *Bacillus thuringiensis* se puede transferir al maíz, algodón, soja, etc, para proteger a las plantas contra los daños de los insectos. La transferencia de genes a través de *Agrobacterium* funciona muy bien en plantas dicotiledóneas tales como el tabaco, colza, soja y algodón.

La transferencia de genes a través de bombardeo de partículas se utiliza principalmente en especies de cereales de monocotiledóneas como el maíz, el trigo y el arroz, que no pueden ser transformadas por *Agrobacterium* ([www.transgen.de/database/planta](http://www.transgen.de/database/planta)).

#### **Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:**

- > Los organismos modificados genéticamente no están permitidos en la AE.
- > La integridad del genoma de la planta se altera y se superan las barreras de cruzamiento.
- > Hay un potencial para el cruzamiento con otros organismos, que plantea problemas de coexistencia en las agriculturas de pequeña escala.
- > La planta se reduce a bloques de construcciones génicas casi siempre patentadas, que impiden la multiplicación y el mantenimiento de la descendencia. Por lo tanto, impulsa el monopolio en el mercado de semillas y se pierde la diversidad biológica

## **Cisgénesis**

#### **Método:**

En la Cisgénesis se utilizan los mismos métodos que en la generación de plantas transgénicas (véase transferencia de genes). La diferencia, sin embargo, es que tanto el gen aislado, como su promotor e informador son de la misma especie vegetal o proceden de la misma familia y, por lo tanto no se superan las barreras naturales de cruzamiento. En la transferencia génica mediante *Agrobacterium* tampoco está permitido que la bacteria transfiera su propio ADN-T

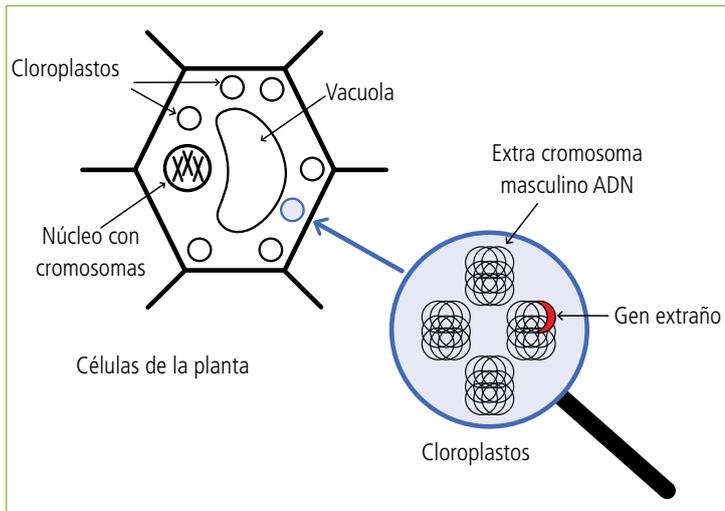
#### **Aplicación:**

La cisgénesis se utiliza principalmente para cultivos de propagación vegetativa para introducir características monogénicas (p.ej., genes de resistencia) de un tipo silvestre o una variedad con malas características agronómicas en la variedad deseada, sin cambiar las otras propiedades de esta variedad. A través de la transferencia de genes individuales de una especie existente se puede mejorar una sola característica sin que se vuelvan a mezclar por recombinación los genes de los padres. Además, mediante la transferencia de genes se puede prevenir que aquellos desfavorables que estén en el mismo cromosoma (arrastre genético) se puedan heredar. Esta es una gran ventaja en variedades de multiplicación vegetativa, como manzana o patata.

#### **Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:**

- > Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en la AE.
- > También en las plantas cisgenicas se ataca directamente el ADN de una planta por la transferencia de genes y se altera la integridad del genoma nuclear.

## Transformación de plastidios



### Método:

En la transformación de plastidios, la construcción génica no se integrará en el genoma nuclear (ADN del núcleo), sino en el ADN extracromosómico de los plastidios (ADN de las mitocondrias o cloroplastos). Las ventajas de la transferencia del ADN extraño en los plastidios está en la alta expresión de genes por el alto número de copias de éstos. Además los plástidos se pueden controlar de otro modo que los genes cromosómicos y con ello se evita que haya peligro de «silenciamiento génico» por la interferencia de ARN. Se pueden transmitir simultáneamente múltiples genes. Los plástidos son casi exclusivamente maternos, es decir, se heredan a través del ovario. Por lo tanto, el riesgo de contaminación genética incontrolada por el polen es sustancialmente menor.

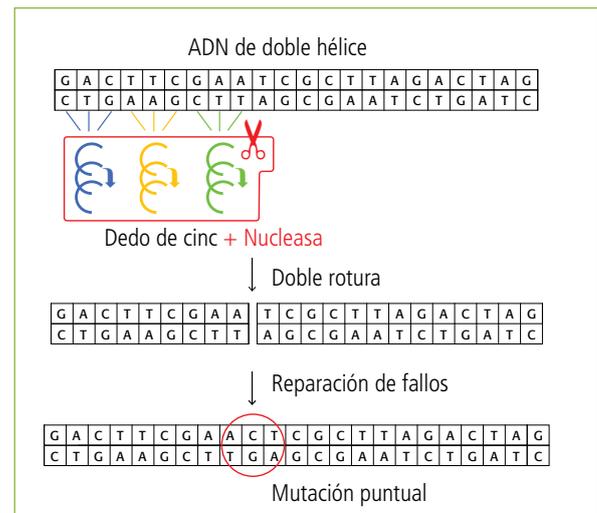
### Aplicación:

Hasta ahora, este método ha sido aplicado con éxito sólo en el tabaco para producir bioplásticos.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en AE.
- > La integridad del ADN nuclear se mantiene, pero el ADN extracromosómico se altera y por lo tanto se daña la integridad a nivel celular.

## Mutaciones dirigidas con nucleasas de dedos de cinc



### Método:

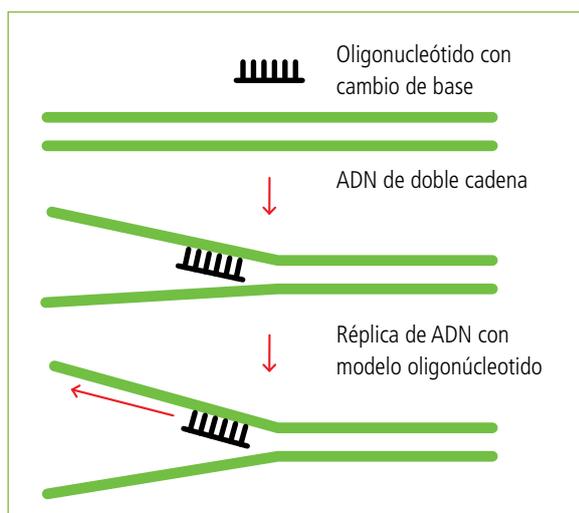
Las nucleasas de dedos de cinc son proteínas sintéticas con dominios de dedos de cinc, que se unen a un triplete de ADN específico y con nucleasas que pueden escindir la doble hélice de ADN. Mediante el acoplamiento de varios dominios de dedo de cinc se puede cortar la doble hebra de ADN en un sitio específico. El subsecuente mecanismo de la planta de reparación del ADN puede provocar la sustitución de bases o el desplazamiento de bases (desplazamiento del marco de lectura) que conduce a una mutación que puede implicar la pérdida de función génica. Mediante este método sólo se introducen en el núcleo de la célula las nucleasas sintéticas pero no ADN recombinante. Esto suele ocurrir por transfección, electroporación o mediante *Agrobacterium*.

Las nucleasas de dedos de cinc se pueden acoplar adicionalmente con secuencias cortas y aisladas de ADN (oligonucleótidos) que son utilizados por la ruptura de la doble cadena como plantilla y así pueden alterar la secuencia génica de una manera dirigida (mutación dirigida provocada vía oligonucleótidos). Si las nucleasas de dedos de cinc se acoplan con construcciones de genes funcionales más grandes, el gen se inserta exactamente en el punto del genoma donde se une el dominio de dedos de cinc al ADN. Con ello se está aumentando la eficiencia de la transferencia de genes y se previene al mismo tiempo los efectos de posición indeseables (transferencia de genes con integración dirigida).

### Aplicación:

Ya hay aplicaciones en el fitomejoramiento. Además de la mutación desencadenada por el mecanismo de reparación, las nucleasas de dedos de cinc también se pueden utilizar en combinación con genes aislados para realizar una transformación genética dirigida. Por la alta especificidad de secuencia del dedo de cinc se puede suponer que todas las copias de los genes presentarían

## Mutación dirigida por oligonucleótidos



mutaciones. Esto es una gran ventaja especialmente en especies poliploides

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Las nucleasas de dedos de cinc son proteínas producidas sintéticamente, que no se producen en la naturaleza.
- > Las nucleasas de dedos de cinc se transfieren con muchos esfuerzos en el núcleo de la célula vegetal y por lo tanto se pierde la integridad de la célula.

### Método:

En la mutación específica del sitio o la mutagénesis dirigida al lugar, la transferencia de una secuencia de ADN específica permite la modificación selectiva de ADN en un segmento de gen particular. Para este fin se obtiene un ADN corto, sintético o secuencia de ARN, de 20 a 100 bases, denominado oligonucleótido, que se introduce en la célula (p.ej., mediante electroporación o con polietilenglicol sobre protoplastos o mediante bombardeo de partículas).

Este oligonucleótido contiene la mutación puntual deseada y sirve como molde para generar una mutación puntual de la planta. El molde se degrada más adelante en la célula y ya no es detectable. Por la secuencia corta de ADN y por la instalación específica, las posibilidades de éxito de la mutación son más altas, y son de esperar menos efectos secundarios que la inducción de mutaciones convencional.

### Aplicación:

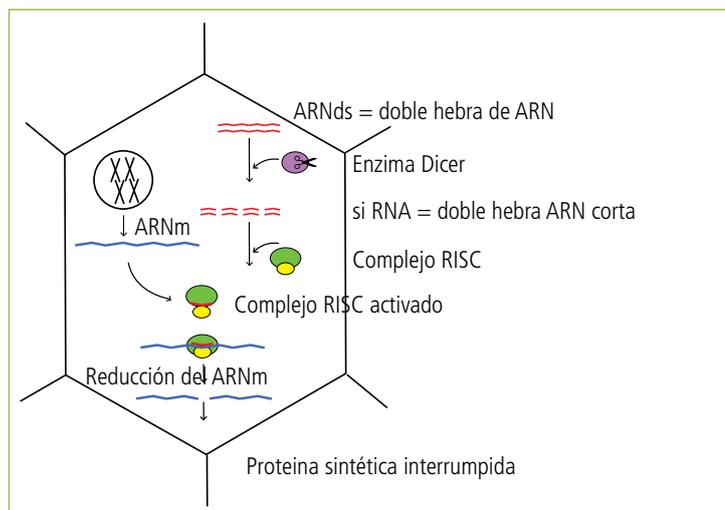
La mutación provocada por oligonucleótidos se utiliza cuando se desea un cambio específico conocido de secuencias de genes para mejorar una característica. Las posibilidades de éxito son mucho mayores que en una mutagénesis no dirigida, ya que sólo el gen diana se ve afectado. La secuencia corta de ADN, la secuencia de ADN de este gen, se cambia con precisión. Por lo tanto se espera que tenga significativamente menos efectos secundarios que la mutación convencional provocada.

La creación de una nueva resistencia en la cebada (MLO mutante) contra un amplio espectro de razas de podredumbres ya está en la fase de investigación.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en la AE.
- > Se introducen por intervenciones técnicas secuencias aisladas de ADN en el núcleo y, por tanto, se altera la integridad de la célula como unidad funcional

## Silenciamiento génico–Interferencia de ARN



### Método:

La interferencia de ARN (ARN-i) es un mecanismo natural para regular la expresión de genes en plantas, animales y seres humanos, que conduce a la desactivación de los genes en las células. De acuerdo con el estado actual de la investigación, la interferencia se desencadena por pequeños ARN de doble cadena (ARNdc), que pueden producir ya sea la metilación del promotor (inhibición de la transcripción) o la degradación del ARNm, previniendo la formación de proteínas (inhibir la traducción). Aquí, el gen se mantiene sin cambios en su secuencia de ADN, y sólo se inhibe su expresión. Siendo pues, efectos epigenéticos. Para suprimir específicamente la expresión de genes, se transfieren al genoma genes cortos con sentido y antisentido del correspondiente fragmento de ADN o ARN a silenciar (p.ej., a través de electroporación o bombardeo de partículas). Si se transcribe esta construcción génica, surgen hebras de ARNm que se pliegan a una forma de horquilla y forma moléculas de ARNdc. Estas moléculas desencadenan la interferencia de ARN (ARNi) que se ha descrito anteriormente, independientemente del número de copias de este gen que estén presentes en la planta. Las construcciones de ARN no se incorporan en el genoma, y el efecto de ARNi puede disminuir en futuras generaciones.

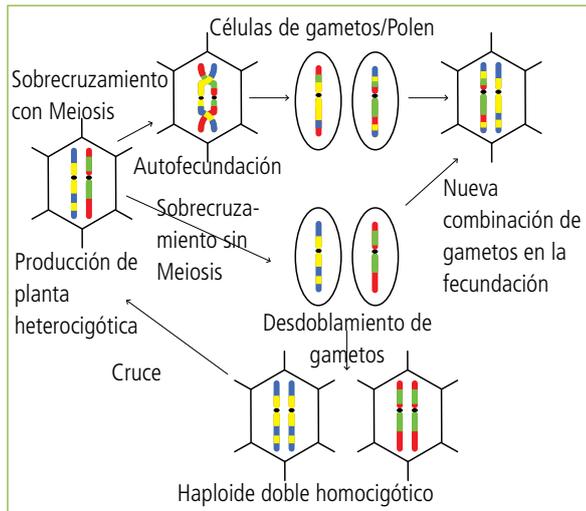
### Aplicación:

Para fines de investigación, la estructura corta de ARN se transfiere directamente a la célula, permitiendo averiguar cuál es su impacto en la regulación de genes. La técnica del ARNi puede usarse en todos aquellos atributos para los que existe un buen conocimiento de su ruta de síntesis y, así, al inactivar ciertas enzimas clave se puede obtener el nivel deseado del carácter estudiado. La gran ventaja de la tecnología del ARNi reside en que este efecto postranscripcional se hereda de forma dominante. No hay problema en cuanto al número de copias del gen presentes en la planta y susceptibles de ser leídas. La eventual traducción a proteínas funcionales se suprime.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- › Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en AE.
- › A través de distintas técnicas se producirán intervenciones aisladas de ADN o secuencias ARN en el núcleo de la célula que dañarán así su integridad como unidad funcional.
- › Se ha observado que a través del ARNi es posible silenciar la expresión de genes así como exacerbala. Dado que la interferencia de ARN está implicada en bucles de control jerarquizados, un nuevo ARNi introducido podría afectar el balance de la expresión génica de otros atributos.
- › Hasta ahora existe poca experiencia sobre riesgos potenciales.

## Mejora inversa



### Método:

En la mejora inversa el proceso de mejora para desarrollar híbridos se invierte. Pretende reproducir de forma genéticamente idéntica una planta heterocigótica seleccionada por sus buenas características. La obtención de una descendencia uniforme e idéntica a una planta heterocigótica a partir de la reproducción sexual de esta última es imposible por la recombinación genética que se produce en la meiosis. Aunque los híbridos se pueden autofecundar las características favorables se segregan por dicha recombinación.

La mejora inversa intenta suprimir los eventos de sobrecruzamiento para evitar la recombinación genética que 'rompe' la combinación genética del híbrido. La recombinación se suprime mediante RNAi (ver sección correspondiente) y mediante la tecnología de producción de líneas doble-haploides se producen líneas homocigotas consanguíneas que pueden ser multiplicadas indefinidamente. Las líneas consanguíneas se pueden cruzar para restaurar el genotipo heterocigoto original.

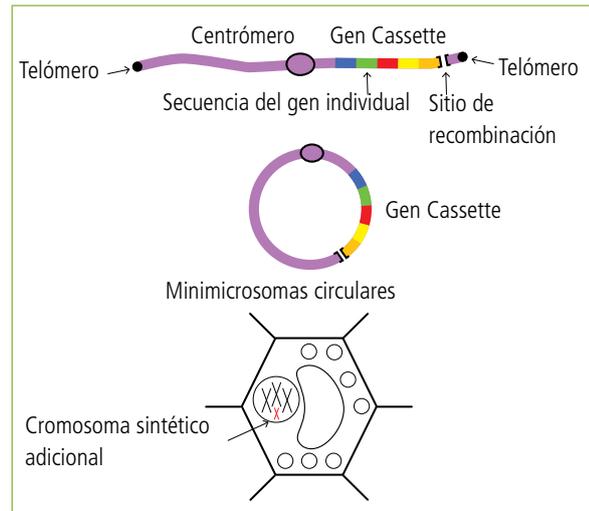
### Aplicación:

La mejora inversa puede utilizarse en plantas heterocigóticas alógamas que deben reproducirse generativamente. Esto antes sólo era posible con multiplicación vegetativa.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Para la supresión de la recombinación es necesario interferir con el control de la expresión génica, por lo que la organización celular se ve afectada.
- > Cada variedad debe, como ocurre con los híbridos convencionales, ser re-creada a partir de sus componentes hereditarios. Estos materiales no pueden reproducirse sin sufrir las pérdidas de rendimiento asociadas a la depresión consanguínea.

## Transformación mediante mini-cromosomas



### Método:

Con objeto de introducir varios genes nuevos en el genoma de una planta se transfiere una cascada completa de construcciones génicas al núcleo celular transportadas en minicromosoma artificiales. Hay dos métodos diferentes para generar minicromosomas: 1) mediante acortamiento de cromosomas naturales o 2) mediante la nueva síntesis de componentes funcionales de un cromosoma. Posteriormente, se integran los genes deseados en los minicromosomas y se incorporan en el núcleo. La mayoría de los sitios de recombinación se transfieren simultáneamente, de modo que otras construcciones génicas se pueden integrar más adelante.

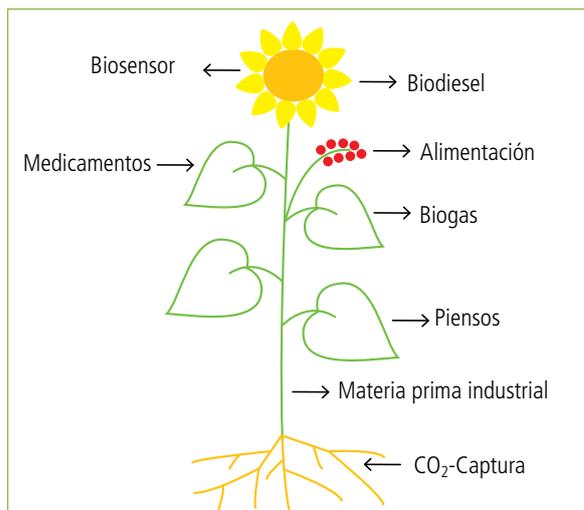
### Aplicación:

Este método es útil si hay disponible un conjunto de construcciones genéticas para transferirlas a una variedad o si se pretende inducir nuevos procesos metabólicos con interés industrial o farmacéutico. Los minicromosomas no se incorporarán en los cromosomas de plantas existentes, por lo tanto no se producirán efectos de posición indeseados. Los genes extraños ubicados en los minicromosomas muestran una expresión estable y heredable. El método se ha utilizado hasta ahora principalmente para aumentar la producción de biomasa.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en la agricultura ecológica.
- > La integridad del genoma de la planta se altera.
- > La planta se rebaja a producto metabólico puro.
- > Punto de transición hacia la biología sintética.

## Biología sintética



### Método:

A través de la biología sintética es posible crear nuevas improntas genéticas (genetic blueprint). Básicamente, consiste en ensamblar y/o producir *de novo* o sintéticamente nuevos nucleótidos o componentes de aminoácidos, sin base natural, preparados de forma totalmente sintética. La investigación actualmente se ocupa principalmente de la síntesis de las bacterias, que pueden producir nuevas enzimas en gran cantidad y pureza. En este caso, el ADN original de la célula bacteriana se sustituye por el genoma sintético. En la investigación básica vegetal ya se está en condiciones de producir minicromosomas artificiales (ver antes) para obtener y sintetizar nuevos cloroplastos.

### Aplicación:

Las primeras aplicaciones de la biología sintética se probaron en bacterias simples. En la biología sintética en vez de obtener segmentos de genes individuales reensamblados, por ejemplo, un gen de Bt de una bacteria integrado en el genoma del maíz, como ocurre con métodos estándar de ingeniería genética, se puede sintetizar nuevos genes y genomas gracias a planos de ADN informatizados. Así, es posible sintetizar secuencias de ADN para las que no hay ningún modelo en la naturaleza, por ejemplo, para diseñar nuevas proteínas. Como ejemplo se está tratando de obtener con planos sintéticos de ADN nuevos ingredientes bacterianos en la forma más pura posible.

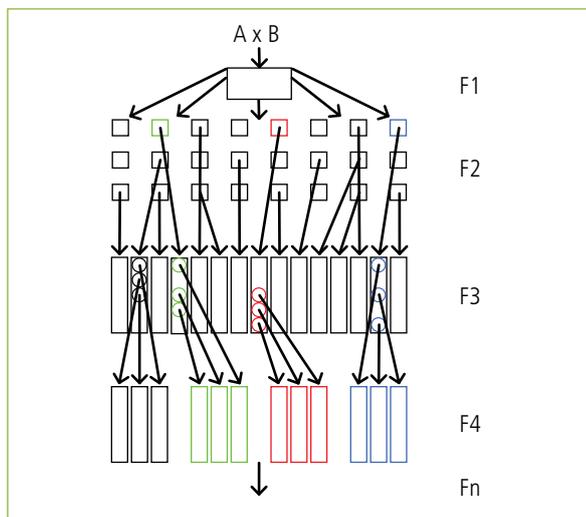
### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- Los organismos genéticamente modificados no están permitidos en la agricultura ecológica.
- El método suscita preocupaciones éticas sobre las fantasías de omnipotencia y la reducción de la vida a la suma de los componentes individuales. La biología sintética representa una fuerte intervención en la vida.

## Selección

### Técnicas a nivel de plantas

#### Selección fenotípica en campo



#### Método:

El progreso en mejora se alcanza por la selección continuada de los mejores individuos o descendencias. Estas plantas individuales o progenies se cultivan en campo y se evalúan en base a los objetivos de mejora definidos. La selección fenotípica de plantas individuales conlleva un error de estima muy alto pues los efectos genotípicos pueden estar enmascarados por efectos ambientales. En generaciones avanzadas, la descendencia suele ser suficientemente homogénea como para que la selección fenotípica se haga en diferentes lugares y sobre grupos grandes de plantas. Por lo tanto la selección en generaciones tempranas es menos eficiente que en generaciones avanzadas. Cuanto más se avanza en el desarrollo de una línea de mejora más información existe para apoyar las decisiones del mejorador. Las demandas de variedades son muy elevadas y es difícil que una planta reúna todas las cualidades favorables, depende de la habilidad del mejorador encontrar las variaciones necesarias para desarrollar materiales de calidad.

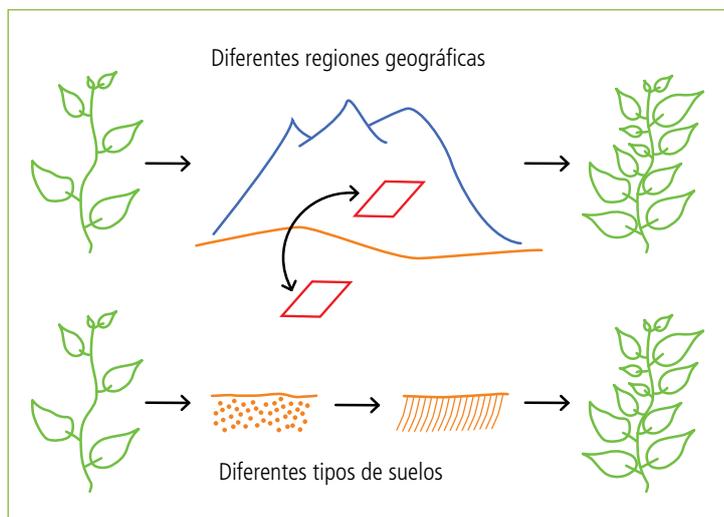
#### Aplicación:

La selección fenotípica es esencial para todos los programas de mejoramiento.

#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Desde la perspectiva de la AE, la interacción de una planta con el suelo y las condiciones climáticas es un requisito previo básico para el desarrollo de los cultivos en un lugar específico.
- > Todos los pasos de selección deben tener lugar bajo condiciones de agricultura ecológica.

#### Mejora lanzadera (de ida y vuelta o shuttle breeding)



#### Método:

Con el cambio del entorno durante el proceso de selección se intenta aumentar la capacidad de adaptación de las variedades, al probar el material de mejora alternativamente en dos o más lugares muy diferentes. De ese modo se realiza la primera selección de la descendencia separada por ejemplo en un lugar seco. La próxima generación de plantas seleccionadas se hace en un lugar húmedo. La tercera generación se selecciona de nuevo en condiciones de sequía. Y así sucesivamente.

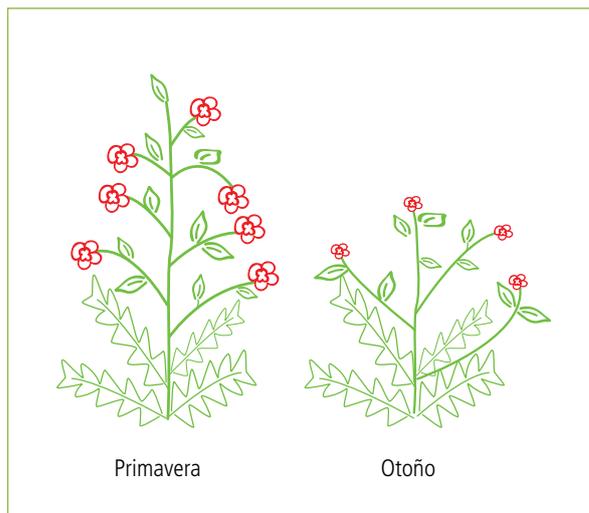
#### Aplicación:

Además de la adaptación a factores de estrés abiótico tales como el calor, las heladas, la sequía, el anegamiento, la salinización, la acidificación, etc, este método también se utiliza para mejorar la resistencia contra diversas plagas y enfermedades. La mejora de lanzadera se utiliza principalmente en las primeras generaciones. En las generaciones posteriores se proporciona suficiente semilla para llevar a cabo las mismas pruebas en varios lugares.

Cuanto más se corresponden las ubicaciones donde se hace la selección a la región posterior de crecimiento mayor será el éxito de la selección.

Al ponerse a prueba en varios sitios con muy diferentes condiciones de suelo y clima, enfermedades y plagas, se obtienen variedades, que pueden adaptarse a diferentes condiciones ambientales (rendimientos estables en variedades supraregionales). Al seleccionar entre las condiciones de ámbito regional en terrenos con manejo ecológico aumenta la posibilidad de seleccionar las variedades que mejor se adaptan a la misma y a la forma de gestión, pero reduce su adecuación a otras condiciones de crecimiento (variedades locales).

## Cambio del momento de siembra



### Método:

El cambio del momento de siembra (Primavera temprana o tardía; Otoño temprano o tardío), se lleva a cabo, por lo general, con el fin de seleccionar con criterios tales como la insensibilidad a la duración del día, menores necesidades en la floración o el rendimiento y estabilidad de la calidad para diferentes longitudes de las estaciones de crecimiento.

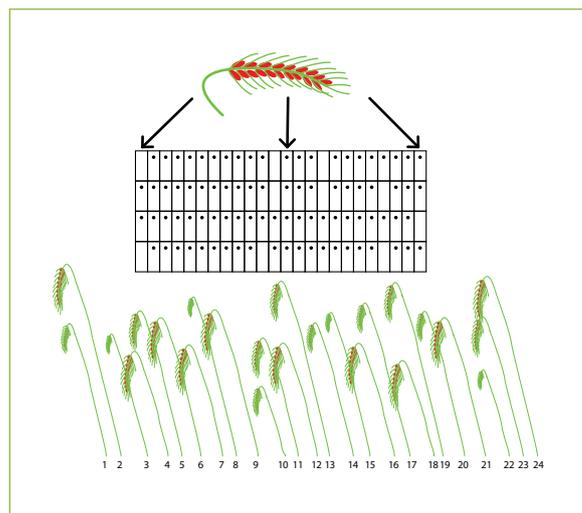
### Aplicación:

Este método se utiliza principalmente para cereales, por ejemplo, para desarrollar materiales con amplia adaptación a fechas de siembra.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Método de la espiga de la mazorca



### Método:

En el método de la mazorca se sembrarán los granos en el mismo orden en que están creciendo en la mazorca. Así la posición inicial del grano en la mazorca se reflejará en las plantas que ocasionará un desarrollo fisiológico diferente.

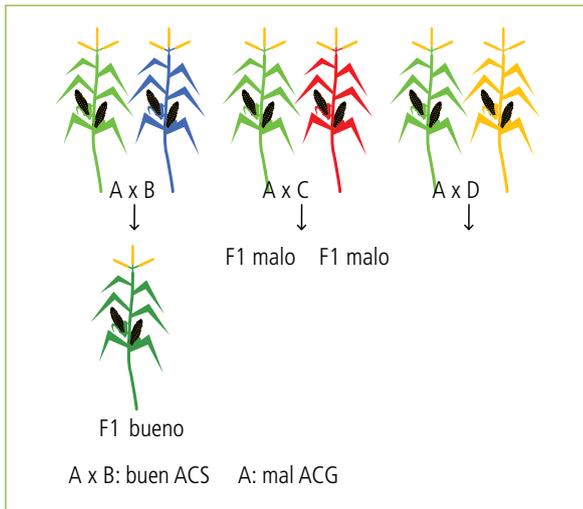
### Aplicación:

Este método fue desarrollado por los productores biodinámicos especialmente para los cereales, para aumentar la eficiencia de la selección.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Cruzamientos experimentales



### Método:

Para la obtención de híbridos y variedades policruzadas no es suficiente una buena selección de rendimiento propio, si no que se deben identificar los padres con buena aptitud combinatoria. Para ello se hacen cruces de prueba, entre diversas líneas parentales y se examinará la descendencia en la próxima temporada. Las mediciones en los híbridos se utilizan para determinar la aptitud combinatoria general (ACG) y aptitud combinatoria específica (ACE) de las plantas parentales.

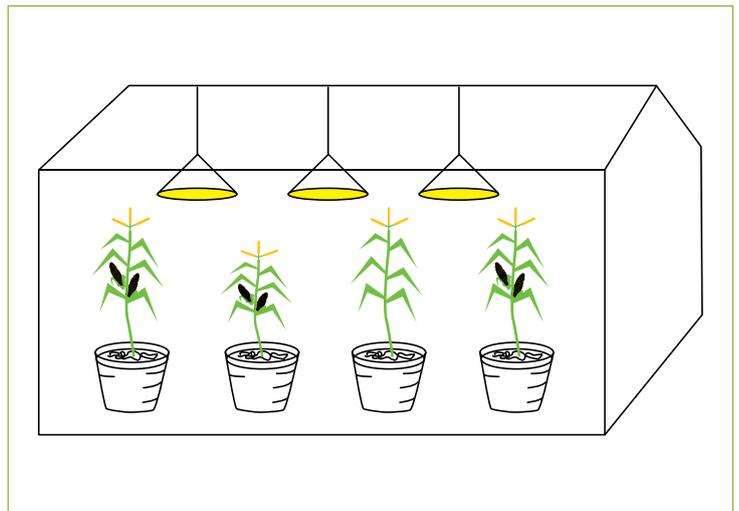
### Aplicación:

Los cruces experimentales juegan un papel destacado en cultivos de polinización cruzada como el maíz, centeno y cultivos forrajeros, así como para el desarrollo de variedades híbridas.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Véase bajo «híbridos», página 42

## Selección fenotípica bajo condiciones controladas



### Método:

Muchas de las características con control monogénico como la resistencia a la roya en trigo pueden ser evaluadas en el estado de plántula en invernadero o fitotrón (cámara climática). La ventaja de hacer ensayos de este tipo es la posibilidad de realizarlos en cualquier época del año al controlar las condiciones ambientales.

Por el contrario, suele haber una correlación muy baja entre lo que se observa en cámaras de cultivo y la expresión en campo de caracteres cuantitativos. Por lo tanto, en estos casos, los ensayos en condiciones controladas sólo sirven como una primera aproximación que debe de ser verificada en condiciones de campo.

### Aplicación:

La selección fenotípica en condiciones controladas se utiliza para seleccionar caracteres controlados de forma oligogénica o monogénica que puedan ser detectadas en plántulas o en plantas individuales con suficiente precisión. Se trata de hacer posible una preselección en los meses de invierno y, por ejemplo, realizar infecciones artificiales con agentes patógenos que resulta fácil y seguro en la cámara climática frente a las condiciones de campo. En invernaderos seguros, es posible incluso seleccionar resistencias frente a organismos de cuarentena.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Bajo condiciones controladas no ocurre la selección natural o la interacción con el entorno de destino.

## Selección por análisis tecnológico



### **Método:**

Muchas características de calidad o propiedades tecnológicas no se pueden detectar a simple vista en el fenotipo. Para identificar estas características, se tienen que realizar varias pruebas en el laboratorio. Así, por ejemplo, se examina la calidad panificadora del trigo a través de varias pruebas de diagnóstico rápido con el fin de hacer predicciones en dicha calidad de panificación. En el brócoli, por ejemplo, el contenido en glucosinolatos determina su mejora para su efecto anticancerígeno.

### **Aplicación:**

Mejora selectiva de propiedades cualitativas para satisfacer las necesidades del mercado.

### **Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:**

Ninguno

## Selección organoléptica



### **Método:**

La selección organoléptica se basa en examinar un alimento o estimulante por su apariencia, olor y la percepción del gusto por los sentidos del hombre. Para este propósito, se llevan a cabo pruebas ciegas con personal experimentado de acuerdo con el diseño experimental adecuado para cada especie.

### **Aplicación:**

La selección organoléptica de productos agrícolas basado en catas se utiliza rutinariamente principalmente en verduras, frutas y especias. La aplicación de las pruebas organolépticas con potenciales consumidores permite una selección personalizable.

### **Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:**

Ninguno

## Selección por métodos de imagen



### Método:

El nombre de métodos de imágenes abarca diversas modalidades, tales como cristalización con cloruro de cobre (Biocristalización), el método de imagen escalada y el método de imagen circular (test de cromatografía). El principio básico de estos métodos, es añadir a un sistema (por ejemplo, soluciones acuosas de sales de metal) una muestra, en este caso partes vegetales de la planta, para que de lugar a la formación de una imagen. Los resultados muestran estructuras o colores específicos. Mediante la comparación de las imágenes con las imágenes de referencia se derivan afirmaciones sobre la calidad y las fuerzas vitales de las muestras correspondientes.

### Aplicación:

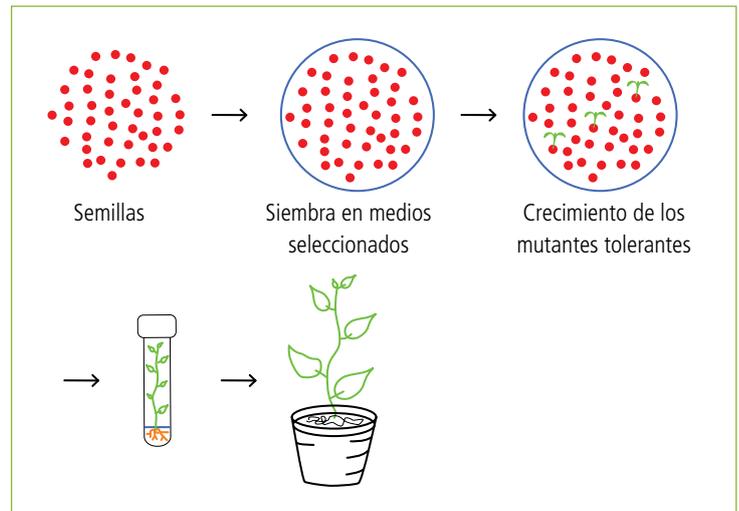
Este método se utiliza principalmente en el cultivo biodinámico para aumentar las fuerzas vitales de la comida. Con estos métodos se busca distinguir alimentos producidos bajo sistemas convencionales de aquellos producidos en condiciones ecológicas.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Selección a nivel de células o tejidos

### Selección *in vitro*



### Método:

En la selección *in vitro* se cultivan plantas, semillas, partes específicas de la planta (protoplastos) en medios nutritivos artificiales en condiciones estériles. Con este método las plantas se pueden ensayar para ver su tolerancia al estrés biótico y abiótico, cambiando el medio de cultivo. Con el cultivo *in vitro* con las condiciones de estrés, no sólo ocurre la selección, sino que se aíslan e inducen nuevas mutaciones (variación somática). Para la selección de resistencia a los hongos, se cultivan, por ejemplo, semillas o embriones en un medio con el patógeno o con la toxina producida por éste. La selección *in vitro* se aplica para probar muchos genotipos posibles para una función específica en un espacio reducido. Es un tipo de preselección, con el que se puede reducir en gran medida el número de genotipos a ser probados en el campo.

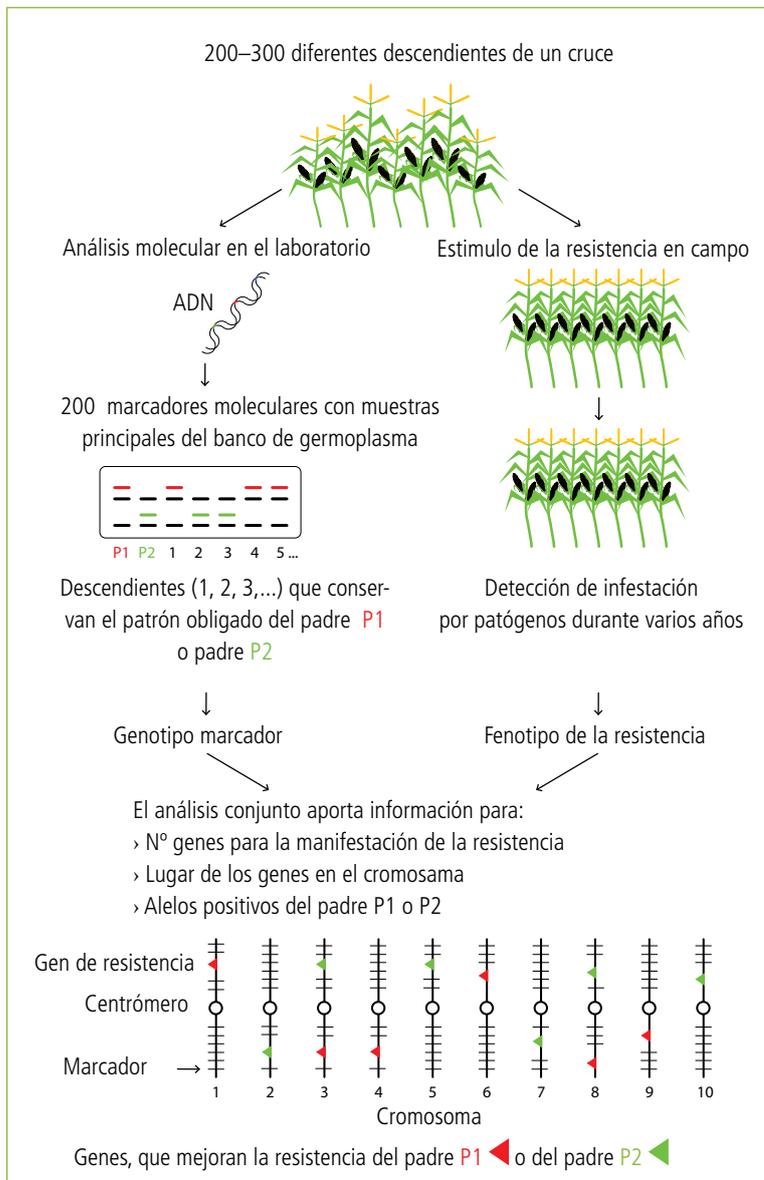
### Aplicación:

La selección *in vitro* es un método muy eficiente y rentable para la selección de características que puede ser ya detectadas a nivel celular. Esto incluye especialmente la tolerancia a factores bióticos y abióticos de estrés, que se pueden simular mediante el cambio del medio de cultivo, tales como los altos contenidos de sales, para la selección de variedades tolerantes a la salinidad, o la adición de toxinas de hongos para ayudar a la selección de resistencia a éstos. Dependiendo de la intensidad del estrés se puede seleccionar una resistencia parcial o completa.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > La selección se realiza en un entorno artificial, por lo general con la adición de fitohormonas sintéticas.
- > No reproduce una interacción real de la planta con el suelo y el aire.

## Selección asistida por marcadores (MAS)



### Método:

Los marcadores moleculares son técnicas de diagnóstico, que permiten hacer visibles las diferencias en la secuencia de ADN. Se heredan de forma mendeliana. Los marcadores moleculares que cubren la totalidad del genoma, permiten la determinación de las relaciones familiares y se pueden utilizar para la selección de posibles padres de cruces divergentes. Para que se puedan utilizar marcadores moleculares para la selección de características deseadas, se debe realizar primero el análisis de ligamiento en campo, para detectar marcadores que se correlacionan con las diferencias de las características fenotípicas correspondientes. En un carácter monogénico (cualitativo) se necesitan solo dos marcadores involucrados, para caracteres poligénicos (cuantitativos) se necesitan varios marcadores ligados a cada gen implicado (locus de rasgos cuantitativos = QTL). En la aplicación práctica de la selección asistida por marcadores (MAS) se toma tejido de hoja de la progenie para extraer ADN y llevar a cabo el análisis de la secuencia. La progenie que contiene el patrón de bandas deseado se selecciona y las demás se descartan. Los marcadores se utilizan sólo con fines de diagnóstico y no alteran el ADN de las plantas vivas.

### Aplicación:

El análisis de los marcadores moleculares proporciona un método de diagnóstico y hace posible seleccionar características monogénicas y poligénicas a nivel de ADN, independientemente del entorno en el que crezca la descendencia.

La selección asistida por marcadores ha sido utilizada con éxito en el retrocruzamiento o la introgresión de genes concretos en variedades existentes, para la piramidalización (Stacking) de varios genes de resistencia monogénicas que son fenotípicamente indistinguibles, y para la selección de caracteres cuantitativos (QTL), que son fenotípicamente difíciles de evaluar. Utilizando análisis con marcadores se puede detectar con mucha precisión la diversidad genética de los cultivos y sus patógenos. Esto proporciona información importante para la selección de parentales de cruce, la selección en bancos de germoplasma, la determinación de las poblaciones de patógenos y las estrategias derivadas para reducir el riesgo de ruptura de las resistencias.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > En el desarrollo y la aplicación de marcadores moleculares se utilizan enzimas, la mayoría producidas a partir de bacterias modificadas genéticamente.
- > Las plantas se reducen a su secuencia de ADN. Las interacciones genotipo-ambiente y los efectos epigenéticos se descuidan.

## Proteómica / Metabolómica

### Método:

La proteómica es el estudio del proteoma, es decir, la totalidad de una célula o una planta en condiciones definidas que expresan unas proteínas presentes en un momento determinado. En contraste con la secuencia de ADN, que es idéntica en todas las células en todo momento, la calidad y cantidad de la composición de proteínas puede variar según las condiciones ambientales y etapas de crecimiento.

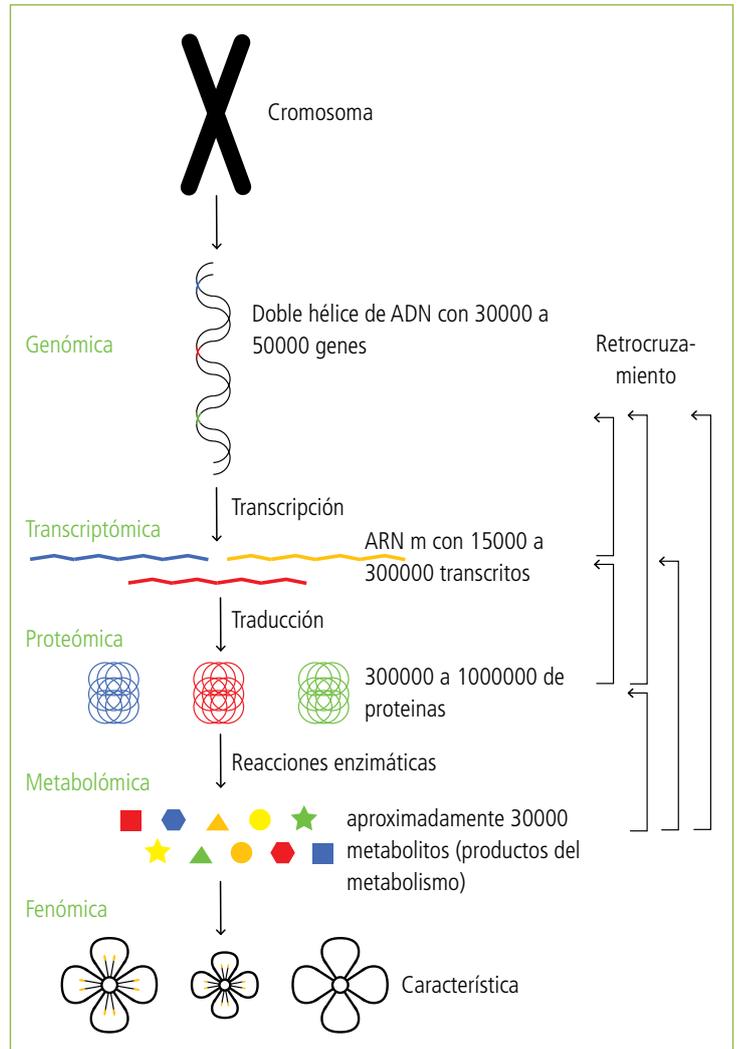
Asimismo, se entiende por metabolómica (perfiles metabolitos) el análisis cuantitativo de diversos productos metabólicos. Mientras que para el análisis de marcador es de ADN, se determina la presencia de un gen, responsable de una característica, con la ayuda de la proteómica se puede determinar cuál de los genes es leído (expresado). En base a las diferencias en la composición de proteínas y el intercambio de información metabólica de un gran número de genotipos, es posible identificar los metabolitos (p.ej., la resistencia de una planta al calor) que juegan un papel crucial para la expresión del carácter de interés. Si la función de las proteínas individuales o metabolitos es conocida, se pueden determinar directamente en la proteína o el nivel metabólico en una característica particular.

### Aplicación:

La selección sobre la base de metabolitos se emplea actualmente en la mejora de caracteres relacionados con la calidad organoléptica, nutricional o de procesamiento industrial principalmente en frutas, hortalizas, plantas medicinales y recursos renovables. Las nuevas tecnologías permiten el análisis sistemático y preciso de las estructuras y funciones de las plantas en su interacción con el medio ambiente que cambia dinámicamente. En plantas modelo se obtuvieron resultados que indican que la expresión de rasgos complejos se pueden predecir a partir de los valores basados en análisis biológicos, bioquímicos y moleculares de cientos o miles de mediciones. Estas técnicas se implementan actualmente en la investigación para entender mejor las respuestas de las plantas a los factores ambientales. Derivado de ello se desarrollan estrategias de selección eficientes.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

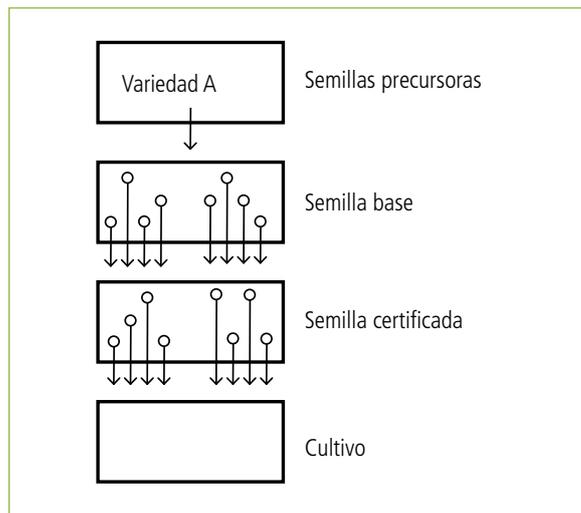
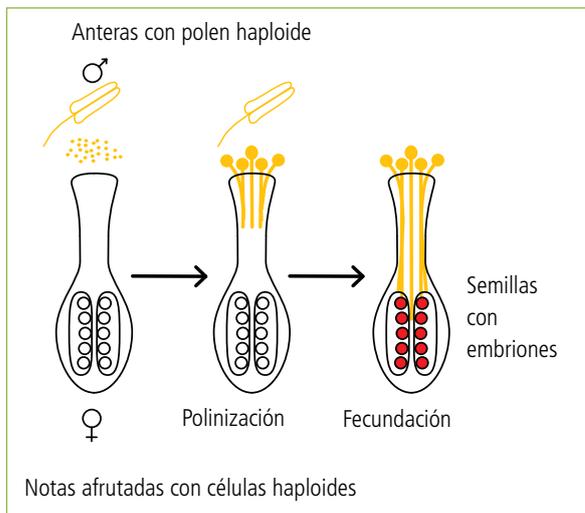
- > Se trata de un método muy tecnológico. Las funciones de la planta y la interacción con el medio ambiente se desglosan en sus componentes individuales y corresponden a un enfoque reduccionista.



# Propagación

## Técnicas a nivel de la planta

### Propagación generativa



#### Método:

La propagación de plantas por semillas también se conoce como reproducción generativa. La descendencia contiene dos juegos de cromosomas, uno procedente de la línea materna y otro de la línea paterna. En líneas homocigóticas fijadas por autofecundación (variedades línea) la descendencia es genéticamente idéntica a la generación parental, pues polen y ovocélulas presentan el mismo juego de cromosomas. En plantas heterocigóticas, los genes de la línea paterna y los de la línea materna se recombinan de forma tal que la descendencia segrega para las características de los parentales. El polen contiene básicamente un núcleo con el juego cromosómico correspondiente, por lo que los orgánulos celulares que incluirán los cigotos (y potenciales plantas descendientes) se heredan básicamente por vía materna a través de la ovocélula. La reproducción se puede realizar en el campo, invernadero o cámara de cultivo.

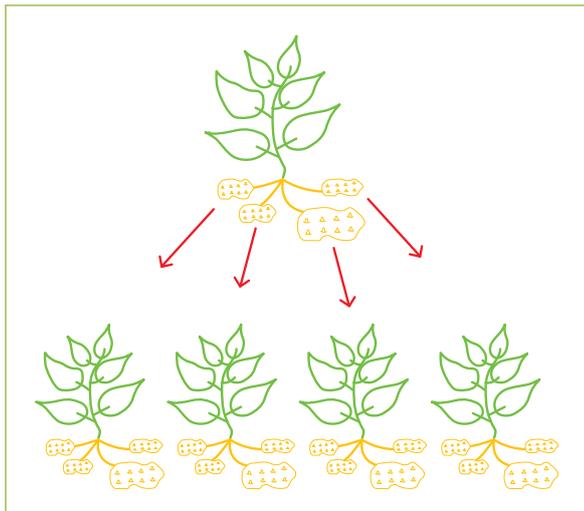
#### Aplicación:

La mayoría de los cultivos se propagan por semillas.

#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno.

## Propagación vegetativa



### Método:

En la propagación vegetativa o asexual las plantas se reproducen mediante esquejes, bulbos, tubérculos, injerto de yemas, etc. En este caso se explota la totipotencia de los tejidos vegetales, p.ej. su capacidad de dar lugar a una planta completa a partir de un órgano o una célula diferenciados. Todo el juego cromosómico (el genoma) se transmite inalterado.

La propagación vegetativa permite reproducir fielmente una planta heterocigótica genéticamente estable, evitando la segregación de la descendencia sexual. Dependiendo del cultivo, la reproducción vegetativa tiene lugar en el campo de cultivo (patata), en el invernadero o la cámara de cultivo. Las técnicas de propagación vegetativa son diversas y específicas de cada cultivo.

Para inducir el enraizamiento de esquejes, con frecuencia se emplean hormonas de enraizamiento. En frutales los esquejes o cortes (yemas) para injerto se injertan habitualmente sobre patrones producidos a partir de semilla.

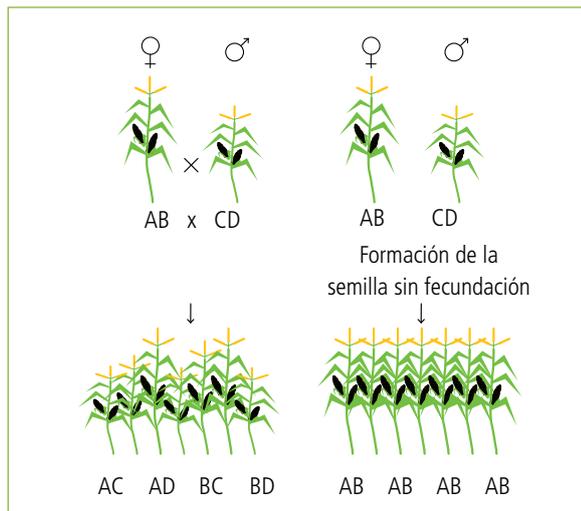
### Aplicación:

Sobre todo, este método se emplea para la propagación de variedades clonales, por ejemplo, para la propagación de patata, manzana, uva y muchas plantas ornamentales y líneas parentales para híbridos o variedades de policruzamientos.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Aplicación de hormonas de enraizamiento sintéticas y pesticidas en la propagación vegetativa.

## Apomixis



### Método:

Algunas plantas pueden reproducirse asexualmente a través de semillas. Este fenómeno se llama la apomixis. Durante la formación de semillas, para la reproducción sexual es esencial suprimir o eludir la meiosis de manera que el embrión sea genéticamente idéntico a la planta madre. Hay plantas de apomixis obligada cuyas semillas contienen embriones apomíticos, y hay plantas de apomixis facultativa, cuyas semillas forman tanto embriones sexuales como embriones apomíticos en sus semillas. A pesar de ser una propagación asexual suele ser necesaria una polinización para que se llegue a la formación de las semillas. Muchas especies apomíticas son poliploides.

### Aplicación:

La apomixis aparece en cultivos (p.ej., pasto azul de Kentucky) y plantas silvestres (p.ej., la hierba de San Juan, el diente de león) y es de interés para los mejoradores, ya que combina las ventajas de la propagación vegetativa y la de semilla, permitiendo altos ratios de multiplicación, conservar la integridad genética de la planta madre original aunque sea heterocigótica, pero evitando los problemas de transmisión de enfermedades propios de la propagación vegetativa convencional. La reproducción apomítica se considera como un método prometedor para multiplicar variedades heterocigóticas y para preservar la heterosis de los híbridos.

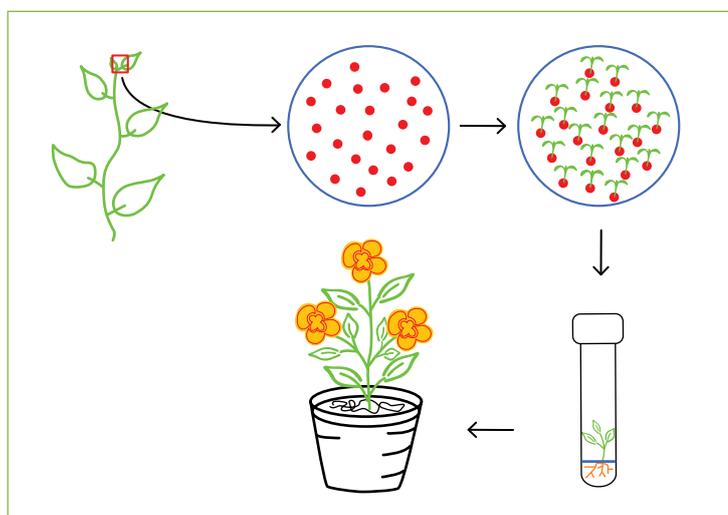
### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Las plantas propagadas por apomixis no pueden ser utilizadas para cruces en mejora, ya que la progenie es genéticamente idéntica a la planta madre.

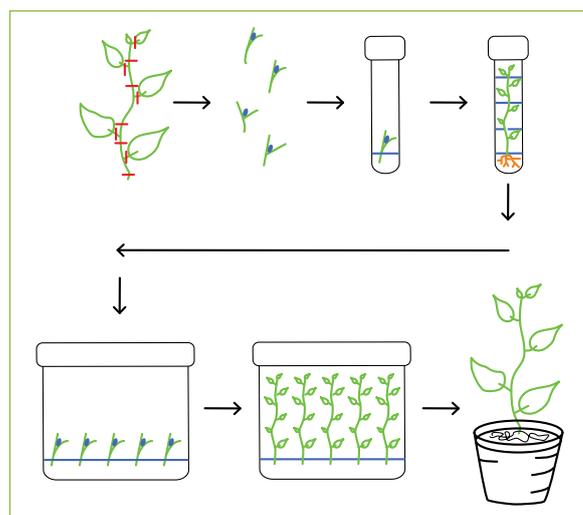
## Técnicas a nivel de células y de tejidos

### Propagación *in vitro*, cultivo de células y tejidos

#### Cultivo de meristemos



#### Cultivo de segmentos nodales



#### Método:

Con la propagación *in vitro* se cultivan y propagan vegetativamente, en un medio nutritivo estéril, partes de plantas, tejidos o células individuales. Según la especie se emplean diferentes partes de la planta, habitualmente parte del tallo con una yema axilar, explantes foliares, bulbos. Estas partes dan lugar a brotes, que pueden ser propagados de nuevo. El proceso se repite hasta que se generan suficientes réplicas. Cuando las raíces se han desarrollado suficientemente, las plantas se aclimatan y finalmente se trasplantan al invernadero o al campo. La propagación *in vitro* se emplea a menudo para generar de forma rápida suficiente material de una nueva variedad para acceder al mercado.

Para mantener un adecuado estado sanitario de variedades clonales (p.ej. patata), se suelen usar los meristemos. En este sentido suele ser el meristemo del ápice caulinar el que se cultiva en el medio nutritivo. El meristemo consiste en células todavía indiferenciadas que pueden dividirse. Debido a la rápida capacidad de división celular del meristemo, a menudo están libres de enfermedades, especialmente virus.

Para aumentar aún más la tasa de replicación, con frecuencia se emplean pequeños explantes (<5 mm) foliares, yemas o nudos, los cuales se aíslan y se cultivan en el medio nutritivo. En primer lugar, las células diferenciadas de estos materiales se desdiferencian y se estimula la división celular. Esto provoca su evolución a callos (masas indiferenciadas de células), que posteriormente pueden ser inducidos para formar raíces y brotes o embriones somáticos aptos para germinar. A su vez, estos brotes pueden ser estimulados para formar múltiples brotes y alcanzar un alto factor de replicación. En el caso más extremo una planta puede regenerarse a partir de una célula individual,

como es el caso de la regeneración a partir del cultivo *in vitro* de protoplastos aislados (células desprovistas de pared celular).

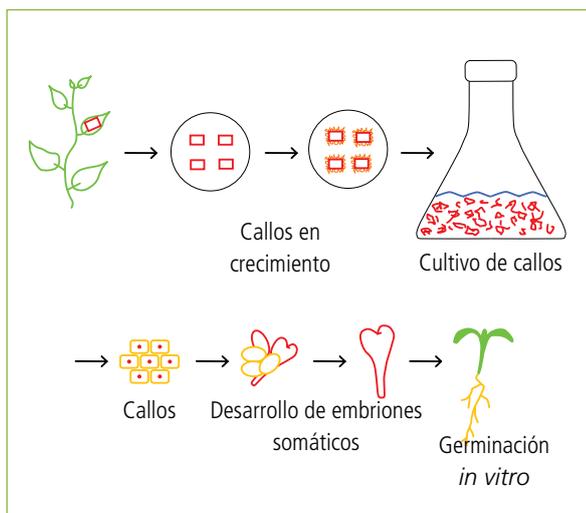
#### Aplicación:

La propagación *in vitro* se utiliza para la propagación de plántulas libres de virus (por ejemplo, patata), así como para la propagación rápida de las variedades clonales y parentales de variedades policruzadas e híbridos. La propagación *in vitro* posibilita reproducir en un tiempo muy corto una planta genéticamente idéntica. A partir de una sola planta, en un año se pueden obtener hasta un millón de descendientes genéticamente idénticos. Mediante el cultivo estéril se evita la expansión de enfermedades, que pueden impedir la propagación vegetativa convencional. Las plantas producidas *in vitro* a partir de tejidos de rápido crecimiento también suelen estar libres de virus. Esta estrategia permite ahorrar mucho espacio, es eficiente y puede ser automatizada parcialmente. Es posible conservar cultivos *in vitro* a baja temperatura por periodos de tiempo muy extensos, esto se está utilizando cada vez más para la conservación y preservación de muestras de gran valor genético (crioconservación).

#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

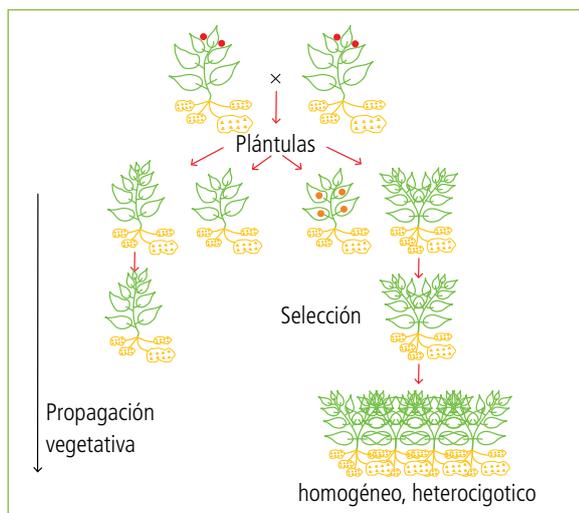
- El cultivo se realiza en medios nutritivos artificiales y por lo general con la adición de fitohormonas sintéticas.

## Cultivo de callos



## Diferentes tipos de variedades

### Variedades clonales



#### Método:

Las especies vegetales que se propagan fundamentalmente de forma vegetativa tienen la propiedad de poder transmitir toda su constitución genética inalterada a su descendencia. Esta es la forma habitual de propagar las variedades clonales. El esquema básico para la mejora clonal se puede resumir en tres etapas:

- i) creación de variabilidad por reproducción sexual,
- ii) posterior selección individual sobre la descendencia segregante de esos cruces y
- iii) propagación vegetativa del mejor individuo seleccionado y registro de la variedad.

Una variedad clonal presenta habitualmente una alta heterocigosidad y, por tanto, su reproducción sexual produce descendencias muy segregantes (múltiples fenotipos diferentes), por lo que es imprescindible propagarla vegetativamente para mantener las características propias de la variedad.

Esta propagación vegetativa asegura la máxima uniformidad en cuanto a su comportamiento agronómico, pues todos los descendientes son genéticamente idénticos entre sí. Es imprescindible mantener bajo control la incidencia de problemas fitosanitarios (p.ej. infecciones con bacterias, hongos o virus).

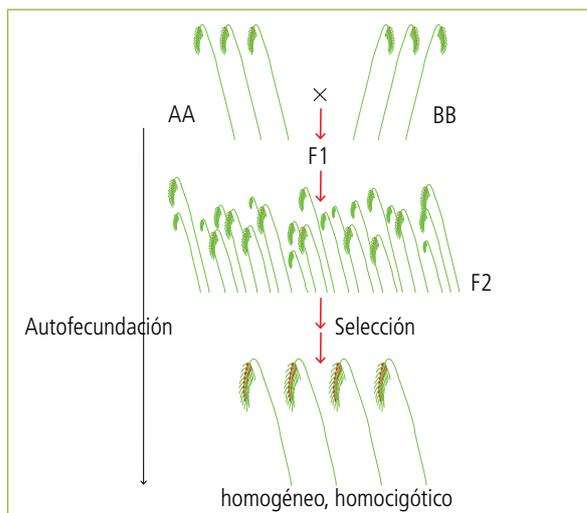
#### Aplicación:

Las variedades clonales pueden mejorarse en pocos años (4-5), ya que pueden seleccionarse las primeras plantas de la progenie del cruzamiento. Los fenotipos únicos obtenidos se pueden mantener y aumentar. Se puede explotar su máxima heterosis en función de la divergencia de los padres originales. Las variedades clonales son comunes en los cultivos perennes y en cultivos con alta tasa de reproducción vegetativa (patatas, fruta, vid, plantas ornamentales).

#### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Lineas puras (variedades línea)



### Método:

En especies vegetales que normalmente se reproducen por autofecundación, se desarrollan de forma general líneas puras, es decir, líneas puras varietales. El esquema básico de la mejora con líneas puras o de la mejora masal combinada con selección individual o pedigrí ocurre en varios pasos:

- Obtención de variabilidad genética por medio del cruce de dos padres;
- La multiplicación de la descendencia F1 homogénea mediante auto-fecundación;
- La selección en masa en la F2, hasta las generaciones F4;
- Selección de plantas de la F5 a las generaciones F8;
- Propagación generativa de las mejores líneas endogámicas para el registro de cultivares/variedades.

Las líneas varietales puras tienen una alta homocigosis y son muy homogéneas. La cosecha de una línea variedad es genéticamente idéntica a la variedad de los padres y se puede replicar fácilmente.

### Aplicación:

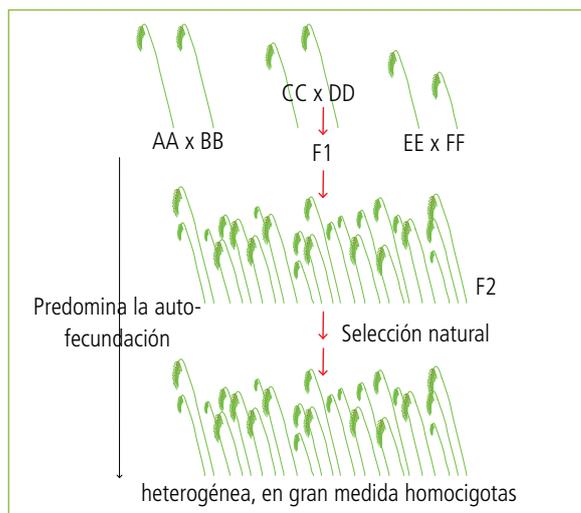
Mediante cruces determinados entre líneas consanguíneas se fuerza la polinización cruzada, en contraste a la tendencia natural de estos materiales. Esto permite recombinar genes procedentes de cada línea parental y producir una amplia diversidad genética, a partir de la cual se puede iniciar un programa de selección de nuevas variedades.

La mejora de líneas puras es una práctica común en cultivos de especies autógamas como el trigo, la cebada, los guisantes o la soja.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Las líneas puras varietales son genéticamente muy cercanas y por lo tanto más susceptibles a las enfermedades y plagas.

## Mezcla de líneas diversas (Poblaciones de cruces compuestos)<sup>2</sup>



### Método:

Los cruces de variedades poblaciones diversas, se utilizan en plantas autogamas para lograr una mayor diversidad genética dentro de la variedad. Para ello, se realizan los siguientes pasos:

- Hacer muchos cruces entre variedades líneas puras (de élite)
- Propagación conjunta de las diversas progenies obtenidas (mezcla diversa) en el entorno de destino.

Esta propagación tiene lugar durante varias generaciones en la ubicación en la que la variedad se va a cultivar después. Esto asegura que los genotipos mejor adaptados por selección natural proliferen más rápido. Además, la gran diversidad de alelos debe permitir alcanzar una heterocigosis alta ya que este es el caso de las líneas de variedades o de mezclas de variedades.

### Aplicación:

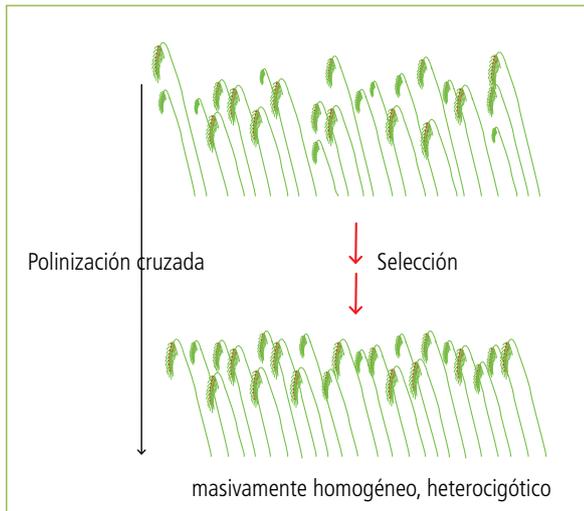
Esta estrategia, basada en la evaluación y selección bajo condiciones locales, permite explotar la adaptación específica a un ambiente determinado. El esfuerzo para la selección es relativamente bajo. El efecto de la selección natural origina unas líneas más heterocigóticas y heterogéneas, lo que les confiere mayor flexibilidad a condiciones ambientales cambiantes. Asimismo, permiten una explotación parcial de la heterosis. En la actualidad, las primeras pruebas piloto se llevan a cabo en las especies autógamas (cruces de poblaciones compuestas, CPC) en el trigo de invierno.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

<sup>2</sup>Composite cross populations

## Variedades Población



### Método:

Las variedades población se desarrollan tradicionalmente en las especies de plantas que normalmente se reproducen por polinización cruzada. El método más simple de selección en la mejora de la población es la selección masal para mejorar la población inicial.

Para aumentar el éxito en la selección, en lugar de la selección en masa sencilla también se pueden realizar cruzamientos por parejas y selección recurrente de las mejores plantas individuales. Para preservar la variedad, se debe hacer un mantenimiento relativamente complicado. Así, las variedades de polinización libre tienen que estar espacialmente bien separadas de otras poblaciones, a fin de que conserven sus características varietales. Las variedades de polinización abierta tienen una heterocigosidad media-alta y son sólo moderadamente homogéneas.

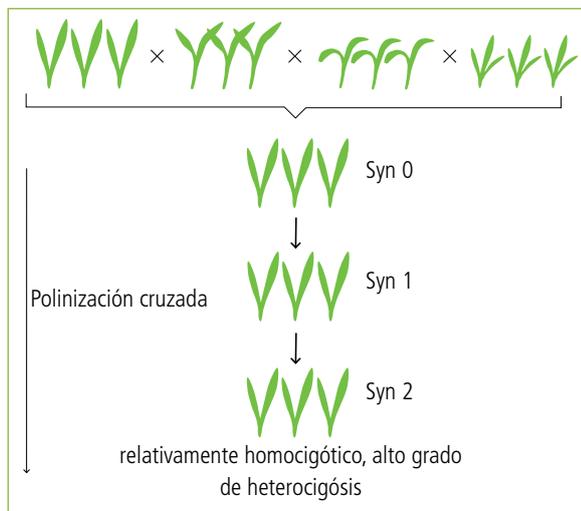
### Aplicación:

Las variedades población son la práctica tradicional en las especies de polinización cruzada. Son genéticamente heterogéneas y heterocigotas (centeno, maíz). Pueden usar la mitad de la máxima heterosis. Debido a la variabilidad genética dentro de la variedad, deben ser capaces de adaptarse mejor a las nuevas condiciones ambientales que las variedades de líneas o híbridos.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Variedades policruzadas (variedades con multicomponente o sintéticas)



### Método:

En las variedades de policruzamiento se pretende mejorar la homogeneidad de una variedad población, sin perder la alta heterocigosidad. En esta estrategia se selecciona un número limitado de parentales (4-20), que son cruzados por parejas de forma controlada o bien se les deja florecer y polinizar de forma abierta juntos. La descendencia de estos cruces tendrá un alto nivel de heterocigosidad, pero globalmente será más homogénea que una variedad población. Estas variedades pueden propagarse varias generaciones siempre y cuando cada descendencia de semilla proceda de la polinización abierta y simultánea de los integrantes de la población. Es importante que estos componentes paternos hayan sido probados previamente por su capacidad de combinar entre sí.

Las variedades policruzadas son intermedias entre las variedades de polinización abierta, que se obtienen mediante polinización abierta, y las variedades híbridas.

### Aplicación:

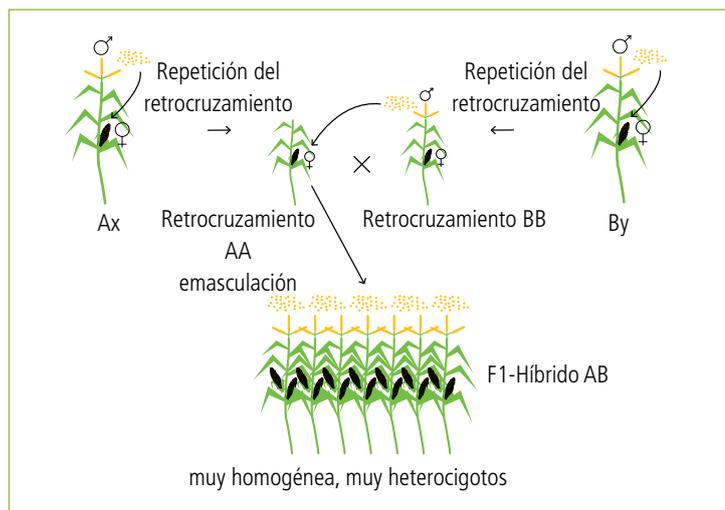
Las variedades policruzadas son una práctica común en la mejora de pastos de forraje y en cultivos de polinización parcialmente cruzada (haba).

Las variedades de policruzamiento explotan teóricamente hasta el 75% de la máxima heterosis. Son heterocigotas, pero más homogéneas que las variedades de polinización abierta. Al contrario que los híbridos, se pueden reproducir varias generaciones por los agricultores sin que el rendimiento disminuya notablemente.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

Ninguno

## Híbridos



### Método:

Se intenta explotar el vigor híbrido al máximo en variedades comerciales. Se llama efecto de heterosis a la superioridad de un híbrido en comparación con las líneas parentales. La ventaja del híbrido es que tiene muchos loci heterocigotos, por lo tanto lleva dos alelos diferentes. Esto tiene un efecto positivo en el rendimiento de las plantas.

Para que este efecto pueda ser explotado plenamente, se deben cruzar líneas puras no relacionadas. Los híbridos producidos de este modo tienen una heterocigosidad máxima y son muy homogéneos. La desventaja, sin embargo, es que la multiplicación posterior de estos híbridos genera descendientes heterogéneos (segregación), y sólo una parte de esa progenie alcanza el nivel de rendimiento de los híbridos. Por lo tanto, se debe obtener nueva semilla híbrida para nuevas siembras.

Para que la semilla híbrida se pueda producir a un costo razonable, la línea pura que actúa como parental femenino debe tener esterilidad masculina o poder castrarse con facilidad. Por lo tanto, está muy extendido el uso de la androesterilidad citoplasmática (CMS). En estos casos, adicionalmente son necesarias dos líneas prácticamente idénticas: la línea materna dotada de CMS (androestéril) y su versión fértil. Esta última es fundamental para conservar la línea parental androestéril y se le denomina línea conservadora o mantenedora. Sin ésta sería imposible conservar la línea CMS mediante autofecundación y la única forma de perpetuarla, teniendo semilla todos los años, consiste en cruzarla como parental femenino con la línea conservadora como parental masculino. Por otro lado, para asegurar que el híbrido puede producir semillas (e.g. cereales) es necesario que sus estructuras reproductivas masculinas sean fértiles. Para ello, a la hora de producir el híbrido, se emplea un parental masculino portador de genes restauradores de la fertilidad.

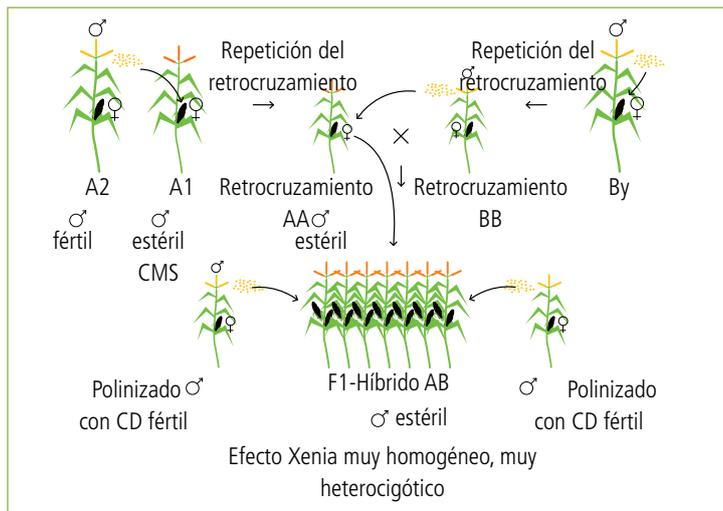
### Aplicación:

El uso de híbridos se encuentra en especies de polinización cruzada como el maíz, el centeno, la colza, el girasol, las zanahorias y todas las coles. Se está convirtiendo en una práctica común en los cultivos autógamos, (algodón, trigo), porque las variedades híbridas son muy homogéneas y tienen un alto nivel de rendimiento.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los híbridos no pueden ser reproducidos sin degradación del rendimiento. Esto restringe la autonomía de los agricultores y promueve la dependencia de las empresas de semillas.
- > Los híbridos CMS sin un restaurador de la fertilidad masculina, no se pueden utilizar para el desarrollo ulterior de las variedades fértiles (como el brócoli y la coliflor). Por lo tanto, la extensión de los obtentores se anula al impedirse el proceso reproductivo.

## Híbridos + efecto Xenia



### Método:

Para conseguir mayores rendimientos en campo, existe una estrategia basada en polinizar híbridos CMS (80%) con el polen de un híbrido fértil no relacionado (20%). Además de explotar la propia heterosis del híbrido CMS y beneficiarse de su androesterilidad (no se pierde energía en producir polen), el rendimiento de este híbrido se ve incrementado por el efecto xenia. El efecto xenia da lugar a semillas de mayor tamaño y ocurre cuando esas semillas provienen de fecundar los óvulos con un polen distinto al de los tejidos del estigma de la planta femenina.

### Aplicación:

Los híbridos con efecto Xenia, se utilizan en maíz, después que la creciente producción de semillas haya cambiado a los híbridos CMS. El efecto Xenia permite aumentar el peso de los granos y con ello se incrementa la cosecha. La mezcla del 20% con híbridos fértiles incrementa la diversidad genética en el campo.

### Puntos críticos desde la perspectiva de la AE:

- > Los híbridos CMS sin gen restaurador son estériles masculinos y por ello tienen limitada su capacidad de reproducción.
- > Los híbridos de CMS no se pueden utilizar como polinizadores para la mejora futura, sino sólo como madre, con el inconveniente añadido de pasar esta esterilidad masculina con el citoplasma a la descendencia en cruces futuros. Por lo tanto, al impedirse el proceso reproductivo.

## Características de los tipos de variedades en un vistazo

	Variedades clonales	Variedad línea pura	Cruce polinización compuesta	Variedad población	Variedad policruzada	Híbridos	Híbridos +
Tipo de reproducción	vegetativa	generativa	generativa	generativa	vegetativa/generativa	generativa	generativa
Grado heterocigótico	Medio a alto	<5 %	escaso	Alto	Muy alto	Heterocigoto completo	Heterocigoto completo
Homogeneidad	Muy alta	Alta	escasa	escasa	alta	Muy alta	Muy alta
Potencial mejora y desarrollo	sí	sí	sí	sí	sí	Aparte de CMS sin gen restaurador	Solo existe gen restaurador
Capacidad replicación	sí	sí	sí	sí	sí	no	no

## Criterios para la valoración de métodos de mejora vegetal

El 2 de marzo 2011 se celebró en Frankfurt (Alemania) un taller de expertos con 30 representantes del mundo de la mejora de plantas, investigación, organizaciones de cultivadores y del ECO-PB con la meta de identificar y priorizar criterios para la valoración de técnicas de mejora genética. Este intercambio condujo al consenso de preservar en la mejora ecológica de plantas no solamente la integridad del genoma, sino también la integridad de la célula como unidad de vida más pequeña de la que puede crecer una planta. El respeto ante la célula como unidad indivisible involucra la interacción de todos los componentes de la célula como ADN cromosómico y extracromosómico, organelos, citoplasma, membrana celular así como sus mecanismos reguladores primordiales relevantes para la función de una célula viva, como unidad funcional de importancia. Estos procesos regulatorios y globales (epigenética) determinan por qué una célula indiferenciada con el mismo genoma evoluciona hacia una célula de flor, de hoja o hacia una célula de

raíz. Por lo tanto, la AE defiende el respeto por la célula como una unidad indivisible y protege la misma ante intervenciones fisicotécnicas.

Basándose en el taller y en el posterior debate se ha consensuado un documento básico sobre el fitomejoramiento que tiene el visto bueno de los expertos y de las partes interesadas del sector ecológico. Este documento básico tiene por un lado el objetivo de reforzar el fitomejoramiento para la AE, producir así seguridad para reproductores y agricultores y por otro lado sensibilizar a la población en general sobre la importancia de las semillas y de la mejora y reproducción de plantas para una producción sostenible de alimentos. Además el documento básico debería crear transparencia, transmitir los valores de una obtención ecológica de plantas y servir de base para el desarrollo de directrices de la mejora de plantas de las asociaciones de agricultores del sector ecológico.

### Documento básico para la mejora y reproducción ecológica de plantas

(Basado en los resultados del taller de expertos del 2 de marzo 2011 en Frankfurt, Alemania)

La obtención ecológica de plantas está integrada en la misión de la Agricultura Ecológica. Según el acuerdo del Movimiento Internacional de la Agricultura Biológica (IFOAM) los actores en el mundo de la AE se preocupan de la conservación y del bienestar de la fertilidad de la tierra, promueven la diversidad genética de plantas, animales y otros seres vivos del sistema agroecológico, protegen recursos naturales y luchan para un equilibrio ecológico estable. Ellos asumen responsabilidades sociales y defienden la justicia y la igualdad de oportunidades. En la AE existe una responsabilidad extraordinaria para la protección del medio ambiente y la preservación de los conceptos básicos de la vida de las generaciones actuales y futuras ([www.ifoam.org](http://www.ifoam.org)). Las plantas cultivadas forman la base de nuestra alimentación. Los tratamientos en sus reproducciones está unido indivisiblemente desde hace miles de años a nuestra cultura. El acceso de los agricultores a una amplia gama de semillas y plántones de especies y variedades de cultivos adaptadas al lugar es de importancia excepcional para nuestro futuro. La diversidad genética dentro y entre las variedades permite la adaptación de las plantas a condiciones ambientales cambiantes y nos permite mejorar

nuestras plantas cultivadas mediante las modificaciones necesarias en la reproducción de las mismas. En la mejora y reproducción de las plantas hay que tener en cuenta la dignidad de la creación. Las plantas tienen como todos los seres vivos un valor en sí mismo, independiente de los intereses del hombre. La obtención ecológica de plantas respeta la integridad de una planta, sus barreras de cruzamiento y los principios de regulación y se compromete a preservar la fertilidad, la singularidad y la capacidad de evolucionar de las plantas de cultivo. Esto significa que en la selección de las variedades para la AE no solamente cuenta la aptitud para el cultivo, sino hay que tener en cuenta también la historia de su evolución reproductiva. Esto, en vista de la gran cantidad de métodos y técnicas de mejora vegetal que se utilizan hoy en día para desarrollar variedades para el futuro, no es una tarea fácil. Para valorar los métodos y técnicas de la mejora vegetal y las variedades desarrolladas con estos métodos y técnicas – y establecer las señales socio-políticas correspondientes – se han definido criterios dispuestos en una jerarquía.

### Metas de la mejora vegetal ecológica

- > Las metas en la mejora vegetal están adaptadas a la respectiva variedad de cultivo y las necesidades de toda la cadena de valor (productores, transformadores y consumidores) del sector ecológico. Las metas de la mejora están alineadas con un uso sostenible de los recursos naturales y respetan a su vez el equilibrio dinámico de todo el sistema agroecológico.
- > La mejora ecológica de plantas atiende a una seguridad alimentaria sostenible, a la soberanía alimentaria, a la seguridad del suministro de productos vegetales (p.ej. fibras, remedios medicinales, madera) y al bien común de la sociedad.
- > Mantiene y aumenta la biodiversidad genética de nuestras plantas cultivadas y contribuye así a la mejora de la biodiversidad agraria.
- > También hace una contribución importante al desarrollo y a la adaptación de nuestras plantas alimenticias a futuras condiciones de cultivos (p.ej. cambio climático).

### Criterios Éticos

1. El respeto al genoma como unidad indivisible y la renuncia a intervenciones técnicas – materiales en el genoma de una planta (p.ej. a través de transmisión de ADN aislado, RNA, proteínas).
2. El respeto a la célula como unidad funcional e indivisible y la renuncia a intervenciones técnicas – materiales en una célula aislada en un medio artificial (p.ej. por la degradación de la pared celular, la destrucción del núcleo en fusiones de citoplasma).
3. Se debe preservar la capacidad de una variedad de reproducirse en una forma específica. Esto incluye la renuncia a tecnologías que limitan la germinación en variedades de cultivos propagadas mediante semillas (p.ej. la tecnología “Terminator”).
4. El uso de una variedad por otros reproductores para mejorarla debe estar permitido. Esto significa por un lado la protección jurídica del mejorador renunciando a las patentes y por el otro lado no restringir técnicamente la cruzabilidad (p.ej. a través del uso de la esterilidad masculina sin la posibilidad de restauración).
5. El uso de la diversidad genética debe ocurrir dentro de las barreras de cruce propias para la planta a través de la fusión del óvulo y polen. Se excluye la hibridación forzada de células somáticas (p.ej. a través de la fusión celular).
6. En complemento a los híbridos de uso común se debería desarrollar y reproducir variedades multiplicables para que los agricultores puedan tener la opción de producir sus propias semillas (privilegio del agricultor).
7. Los principios de la Agricultura Ecológica (salud, ecología, justicia y cuidado) cuentan como orientaciones para la buena conducta de los reproductores.

### Criterios estratégicos de la mejora vegetal

8. Para tener en cuenta las interacciones de la planta con su entorno ambiental y agilizar así el éxito de la selección para estos entornos y para beneficiarse de los posibles efectos epigenéticos, la selección de las plantas se realiza bajo condiciones de cultivo ecológicas.
9. La Selección fenotípica en el campo puede complementarse con métodos de selección adicionales (p.ej. análisis de componentes o marcadores moleculares para usos diagnósticos).

### Criterios socioeconómicos

10. Se fomenta el intercambio de recursos genéticos. Se renuncia a patentar cualquier ser vivo, sus metabolitos o secuencias de genes.
11. Se revela el proceso de la mejora y multiplicación, el material de partida (p.ej. las plantas padres usadas en el cruce, las poblaciones de partida) y las técnicas aplicadas que permite a los productores y a los consumidores elegir las variedades que cumplen con sus conceptos morales (p.ej. una declaración clara de variedades de producción híbridas).
12. Se promueve programas participativos de mejora incluyendo todas las partes interesadas (productores, transformadores, comercio y consumidores).
13. Se favorece la realización de una gran variedad de programas independientes con diferentes variedades de cultivos para aumentar la biodiversidad agrícola.

## Elección de variedades en la Agricultura Ecológica

Todas las variedades, cuyas semillas y/o plántulas han sido multiplicadas bajo condiciones ecológicas están, de momento, autorizadas en la AE siempre y cuando no están declaradas como variedades genéticamente modificadas (REGLAMENTO UE DE AE N° 834/2007 DEL CONSEJO A 28 DE JUNIO 2007). Se autoriza como excepción el uso de variedades convencionales no tratadas, si no hay disponibilidad de variedades procedentes de producción ecológica. Para las variedades se puede distinguir las siguientes categorías.

Cat. I. Variedades que vienen de la mejora de plantas convencionales, aptas para la AE, salvo variedades genéticamente modificadas (reproducción y mejora convencional, multiplicación ecológica probablemente sin tratar, multiplicación convencional).

Cat. II. Variedades procedentes de programas de reproducción y mejora vegetal con especial atención a las metas ecológicas en la multiplicación o las condiciones ambientales relevantes para la AE y las reproducciones de semillas ecológicas (mejora orientada a la producción en la AE, multiplicado ecológicamente) y

Cat. III. Variedades procedentes de programas de mejora y reproducción ecológica desarrollados bajo condiciones ecológicas de cultivo con especial referencia a los criterios mencionados arriba (programas de selección y mejora orientados a producción ecológica, con materiales reproducidos y multiplicados ecológicamente).

De acuerdo con el consenso mínimo logrado hay que excluir en la elección de variedades aptas para AE variedades obtenidas con la ayuda de técnicas que vulneran

la integridad del genoma (p.ej. plantas transgénicas) o la integridad de la célula (p.ej. fusión de protoplastos). Para que variedades de las categorías I y II sean aceptadas en el futuro por el sector de la AE, hay que respetar los criterios antes mencionados (en particular los criterios 1-5). Hay que entender estos criterios también como una ayuda orientativa para programas de reproducción y mejora de plantas para la AE. Actualmente en AE están disponibles principalmente variedades procedentes de mejora y reproducción convencional de plantas. Hay que complementar y/o sustituir este espectro con urgencia porque en algunas variedades se aplican progresivamente métodos genéticos (vulneración del criterio nº1) como p.ej. en el cultivo del algodón, soja, o maíz; o se desarrolla la obtención exclusivamente de híbridos estériles masculinos basados en la fusión de protoplastos (vulneración del criterio II) p.ej. con brécol y coliflor. En estos casos ya existe una limitación masiva en la elección de las variedades para la AE. Además la fuerte monopolización del mercado de semillas, la concentración de los esfuerzos en la mejora de plantas en pocos cultivos principales y el dominio de semillas reproducidas convencionalmente en el mercado llevan a un mayor estrechamiento del espectro de las variedades disponibles para la AE. Semillas y plántulas conforman unos de nuestros recursos más importantes. Por esta razón el apoyo de las categorías I y III es importante.

*Este documento básico fue elaborado por Monika Messmer y Klaus Peter Wilbois con la colaboración de los participantes en el Taller de Expertos y aprobada por consenso mayoritario el 28.10.2011.*



## Bibliografía

- Arncken C., (2002). Züchtungsmethodik bei Getreide. In: Bundessortenamt (Hrsg.): Workshop Züchtung für den Ökolandbau am 10. und 11. Juni 2002 in Hannover. Kurzfassung der Vorträge und Stellungnahmen sowie Zusammenfassung der Ergebnisse. Bearbeitet von Dr. Joseph Steinberger. S. 26–28.
- Arncken C., Thommen A. (2002). Biologische Pflanzenzüchtung – Beitrag zur Diskussion der Züchtungsstrategien im Ökolandbau [Organic plant breeding – Discussion paper on breeding strategies for organic farming]. Bericht über die 53. Tagung 2002 der Vereinigung der Pflanzzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, BAL Gumpenstein, 26.–28. Nov. 2002.
- Arncken C., Dierauer, H. (2005). Hybridsorten im Bio-Getreide? Perspektiven und Akzeptanz der Hybridzüchtung für den Bio-Anbau [Hybrid species for organic cereals? Perspectives and acceptance of hybrid breeding for organic farming]. Schlussbericht, Juni 2005, Coop Naturaplan-Fonds Biosaatgutprojekt Modul 1.4, Anbautechnik Einjährige Kulturen, Forschungsinstitut für biologischen Landbau (FiBL), CH-5070 Frick.
- Billmann B., Arncken C., Koller M., Oehen B., Thommen A. (2008). Impacts of banning protoplast fusion on the range of varieties available for organic arable cropping and vegetable production – Auswirkungen des Verbots der Protoplastenfusion auf das Sortenspektrum im ökologischen Acker- und Gemüsebau. FiBL-Report, Research Institute of Organic Agriculture, FiBL, CH-Frick.
- BMVEL (2002). Basisreader der Moderation zum Diskurs Grüne Gentechnik des Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft – BMVEL. Eds. N. Heine, M. Heyer and T. Pickardt. p. 128.
- Borgen A. (2009). Present and future system organization of organic plant breeding. In: 1<sup>st</sup> IFOAM Int. Conference on Organic Animal and Plant Breeding. Ed. A Zschokke. pp 253–255. IFOAM, Santa Fe, New Mexico, USA.
- ECO-PB (2007). Proceedings of the ECO-PB International Workshop on different models to finance plant breeding. Eds. A Osman, K-J Müller and K-P Wilbois, Frankfurt, Germany.
- ETCgroup (2011). Who will control the Green Economy? ETC Group (Action Group on Erosion, Technology and Concentration), Ottawa, CA, 2011. www.etcgroup.org.
- Harl, N.E. (2000). The age of contract agriculture: consequences of concentration in input supply. *J. Agrib.* 18, 115–128.
- Haußmann B.I.G., Parzies H.K. (2009). Methodologies for generating variability. Part 1. Use of Genetic Resources in Plant Breeding. Chapter 5, Pages 107–128 in Participatory Plant Breeding (Ceccarelli S., Guimaraes E.P., Weltzien E. and Rajendran P.G., eds.). FAO, Rome, Italy. ISBN: 9789251063828.
- Howard P. (2009). Visualizing consolidation in the global seed industry: 1996–2008. *Sustainability* 1: 1266–1287.
- IFOAM (2006). International Federation of Organic Agriculture Movement (IFOAM). The IFOAM norms for organic production and processing. Bonn: IFOAM.
- Lammerts van Bueren E., Hulscher M., Haring M., Jongerden J., van Mansvelt J.D., den Nijs A.P.M. and Ruivenkamp G.T.P. (1999). Sustainable organic plant breeding; Final report: a vision, choices, consequences and steps. Louis Bolk Institute.
- Lammerts van Bueren E.T., Wilbois K.-P. (2003). Organic Seed Production and Plant Breeding – Strategies, Problems and Perspectives. Proceedings of ECO-PB's 1<sup>st</sup> International Symposium on Organic Seed and Plant Breeding. Berlin, Germany 21–22 November 2002.
- Lammerts van Bueren E.T., Wilbois K.-P., Østergård, H. (2007). European perspectives of organic plant breeding and seed production in a genomics era. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics, Supplement 89: Organic Agriculture in the Tropics and Subtropics – Current Status and Perspectives.*
- Lammerts van Bueren E.T., Jones S.S., Tamm L., Murphy K.M., Myers J.R., Leifert C. and Messmer M.M. (2011). The need to breed crop varieties suitable for organic farming, using wheat, tomato and broccoli as examples: A review. *NJAS – Wageningen Journal of Life Sciences* 580: 193–205.
- Miedaner T. (2010). Grundlagen der Pflanzenzüchtung, DLG-Verlags-GmbH, ISBN 978-3-7690-0752-7
- Oehen B., Thommen A. (2009). Workshop zu Züchtung und Züchtungstechniken. 10. Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau, Zürich, 11.–13. Februar 2009.
- Rajaram S., van Ginkel M. (2001). Mexico: 50 Years of International Wheat Breeding. In *The World Wheat Book – A History of Wheat Breeding* Lavoisier Publishing Inc., Paris Cedex 08.
- Scialabba N. (2007). Organic agriculture and food security (<ftp://ftp.fao.org/paia/organicag/ofs/OFS-2007-5.pdf>). FAO, Rome 3.–5. May 2007.
- Srinivasan C.S. (2003). Concentration in ownership of plant variety rights: some implications for developing countries. *Food Policy* 28: 519–546.
- Then Ch., Tippe R. (2009). Saatgut und Lebensmittel – Zunehmende Monopolisierung durch Patente und Marktkonzentration. [www.no-patents-on-seeds.org](http://www.no-patents-on-seeds.org).
- Wilbois K-P. (2002). Prinzipien des ökologischen Landbaus und daraus abzuleitende Anforderungen an die Pflanzenzüchtung. Workshop: Züchtung für den Ökolandbau, Hannover, 10.–11.06. 2002.
- Wolfe M., Baresel J., Desclaux D., Goldringer I., Hoad S., Kovacs G., Löschenberger F., Miedaner T., Østergård H., Lammerts van Bueren E. (2008). Developments in breeding cereals for organic agriculture, *Euphytica* 163, 323–346.
- Wyss E., Lammerts van Bueren E., Hulscher M., Haring M. (2001). Plant breeding techniques. An evaluation for organic plant breeding. FiBL Dossier No. 2. Forschungsinstitut für biologischen Landbau, Frick (ISBN 3-906081-13-3): 24pp.

## Otra bibliografía

### Bases de la mejora vegetal :

- Miedaner T. (2010). Grundlagen der Pflanzenzüchtung. DLG-Verlags-GmbH, ISBN 978-3-7690-07527.
- Becker H. (2011). Pflanzenzüchtung. 2. Auflage, Eugen Ulmer KG, ISBN 978-3-8001-2940-9.
- Lammerts van Bueren, E.T., Myers, J.R. (2012). Organic Crop Breeding. John Wiley and Sons, ISBN: 978-0-470-95858-2.
- Wilbois K.-P., Wenzel K. (2011) Ökologisch-partizipative Pflanzenzüchtung. www.shop.fibl.org.

Más información para la valoración de las técnicas de mejora vegetal en agricultura ecológica, se puede encontrar en la página web temática [www.fibl.org](http://www.fibl.org) > Themen > Pflanzenzüchtung.

## Bibliografía en castellano

- Moreno Valencia MM, AM García, J Villena, C. Moreno, I. Mancebo & R. Meco. 2013. Mejora en la producción ecológica de tomate mediante la técnica del injerto. Revista Ae - Nº13 2013. Edita SEAE, 22-23p. ISSN: 2172-3117. DL: V-2052-2010.
- Perdomo A & J Roselló Oltrá. 2010. Producir semillas en Agricultura Ecológica. Vol. I Producción Vegetal Ecológica. Edita SEAE. Serie CT 48p.
- Soriano Niebla JJ & JM González Gutiérrez. 2006. Semillas y material de reproducción vegetal en la agricultura ecológica. Estado de la cuestión. CD Actas VII Congreso SEAE, Zaragoza. Edita SEAE. ISBN: 978-84-612-5354-8.
- Valero T, JM González, JJ Soriano & P López. 2010. Oportunidades para la conservación, mejora y producción de las semillas campesinas. Actas IX Congreso SEAE, Lleida. Edita SEAE. ISBN: 978-84-614-3856-3.
- Ríos Labrada H, R Ortiz, V Alanis, H López, G Verde, L Martín, M Ponce, I Moreno, R Roca, S Miranda, L Fernández & E Ferro. 2004. Cambios conceptuales inducidos por el fitomejoramiento participativo en Cuba y México. Actas VI JT SEAE, Sangonera La Verde (Murcia). Edita Consejería de Agricultura y Agua Región de Murcia. DL MU-1799-2004.

## Impresión

### Edición en castellano publicada por:

Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE)  
Cami del Port, s/n (Apdo 397)  
E-46470 Catarroja (Valencia)  
Telefax +34 961267122  
seae@agroecologia.net  
www.agroecologia.net

Forschungsinstitut für biologischen  
Landbau (FiBL)  
Ackerstrasse 113, Postfach 219  
CH-5070 Frick  
Tel. +41 (0)62 8657-272, Fax -273  
info.suisse@fibl.org, www.fibl.org

Postfach 90 01 63,  
D-60441 Frankfurt a. M.  
Kasseler Straße 1a, D-60486 Frankfurt am Main  
Tel. +49 (0)69 / 713 7699-0, Fax -9  
info.deutschland@fibl.org, www.fibl.org

Doblhoffgasse 7/10  
A-1010 Wien  
Tel. +43 (0)1 9076313, Fax 313-20,  
info.oesterreich@fibl.org, www.fibl.org

### Autores:

Monika Messmer, Klaus-Peter Wilbois, Chris Baier,  
Freya Schäfer, Christine Arncken, Dora Drexler und Isa-  
bell Hildermann (FiBL)

### Traducción castellano: (por orden alfabético)

Ana Mª Fita Fernández, Klaus Guttenberger  
Victor González Pérez, Adrian Rodríguez Burruezo

### Imágenes :

Gabriela Brändle (Agroscope Reckenholz Tänikon):  
S. 14; Beat Ernst, Fotograf Basel: S. 32 (1); Uwe Geier  
(Goetheanum): S. 33; Michel Häring (Universität  
Amsterdam): S. 21; Monika Messmer: S. 1, 5, 46; Jan  
Valema (Vitalis Biologische Zaden BV): S. 13; Franco  
Weibel (FiBL): S. 32 (2); Robert Weller, Bottmingen/CH:  
S.2/3; 48

### Redacción:

Gilles Weidmann (FiBL)

### Diseño:

Claudia Kirchgraber (FiBL)

### Maquetado versión castellana:

Florence Maixent (SEAE)

No. FiBL 1653

### Edición original en alemán:

Techniken der Pflanzenzüchtung - Eine Einschätzung  
für den ökologischen Landbau (Dossier Nr. 2). 2012,  
2. Auflage.  
ISBN 978-3-03736-218-1

### Precio:

7.00 Euro con IVA incluido (sin incluir costes de envío).  
El dossier se puede descargar a coste menor de la  
mitad en la tienda virtual de SEAE ([www.agroecologia.net](http://www.agroecologia.net)) y en alemán en la tienda virtual del FiBL  
([www.shop.fibl.org](http://www.shop.fibl.org).)

Toda la información contenida en este dossier ha sido  
elaborada con el máximo cuidado por los autores y  
por uno de los colaboradores y editores que participan,  
para ofrecer el mejor conocimiento.

Sin embargo, no pueden descartarse por completo que  
hayan errores.

Por ello, todas las informaciones específicas no tienen  
ningún tipo de obligación o garantía, de los autores o  
del editor. Ambas partes, por tanto, no aceptan ninguna  
responsabilidad por los errores en el contenido  
© FiBL

Esta obra está protegida por derechos de autor en su  
totalidad. Cualquier uso está prohibido, sin previo per-  
misso de los editores. Esto se aplica en particular a las  
reproducciones, traducciones, microfilmación y alma-  
cenamiento y procesamiento en sistemas electrónicos.

Financiado por la Fundación Mercator Schweiz y la  
Fundación Mahle  
Versión castellana financiada por la Sociedad Española  
de Agricultura Ecológica con apoyo del Ministerio  
de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente  
(MAGRAMA)

