

REAL ACADEMIA DE CIENCIAS
EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES

DISCURSO INAUGURAL
DEL AÑO ACADÉMICO 1983-1984

LEIDO EN LA SESIÓN CELEBRADA EL DÍA 26 DE OCTUBRE 1983

POR EL ACADEMICO NUMERARIO

ECMO. SR. D. ENRIQUE SANCHEZ-MONGE Y PARELLADA

SOBRE

LA MEJORA GENÉTICA VEGETAL:
PASADO, PRESENTE Y FUTURO



M A D R I D
DOMICILIO DE LA ACADEMIA
VALVERDE 22 - TELÉFONO 221 25 29

1 9 8 3

Depósito Legal: M. 33.813 - 1983

IMPRESO EN REALIGRAF, S. A. - BURGOS, 12 - MADRID - 29

LA MEJORA GENETICA VEGETAL: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

Los comienzos de la selección vegetal se remontan a los orígenes de la agricultura, hace unos cien siglos, cuando nuestros antepasados empezaron a adoptar la vida sedentaria.

El tema del origen de la agricultura figura prácticamente en todas las mitologías con rasgos parecidos. Los hombres viven de la recolección de los productos de plantas silvestres y de la caza, y un buen día un dios o una diosa les enseña a cultivar las plantas y así se inicia la agricultura. Así ocurrió por ejemplo con Isis en Egipto, con Ceres en Roma y con Demetrius en Grecia.

Es indudable que el primitivo agricultor tuvo que aprender a diferenciar las plantas comestibles de las nocivas, o a eliminar de algunas de estas últimas el principio tóxico, como se hace hoy todavía con los ñames en países tropicales. También aprendió este agricultor primitivo a identificar las plantas útiles para extracción de venenos para la caza, para envarbascar las aguas y para la curación de heridas. Estos primeros conocimientos botánicos incluyeron los de las prácticas de siembra y plantación.

La mejora de plantas, la primeras selecciones, se inician artesanalmente por los hombres neolíticos, que al domesticar y cultivar las primeras plantas agrícolas realizan, repito, de modo artesanal y a veces inconsciente, una elección.

Y esto es la mejora genética vegetal, la elección de unas plantas que se suponen mejores que las demás de su especie en cuanto a productividad, calidad, belleza, facilidad de cultivo o recolección o cualquier otro carácter que se considere favorable.

El primer acto electivo del hombre primitivo fue el de la especie y luego, dentro de ella, elegiría determinados tipos, con lo que la planta silvestre puesta en cultivo empezó a ser modelada para mejor ajustarse a tal cultivo y a las necesidades humanas. El propio acto de sembrar y especialmente el de recoger es selectivo, como lo demuestra por ejemplo el caso de cereales tales como el trigo y la cebada en los que los tipos primitivos desarticulaban espontáneamente toda o parte de su espiga, perdiéndose así parte del grano. En la recolección tienden a seleccionarse aquellos tipos que se van produciendo por mutación en los que la espiga desarticula menos o no desarticula, con lo que en la semilla para la siembra siguiente se van acumulando cada vez con mayor frecuencia genes para espiga tenaz. Caso similar a este es el de las leguminosas de grano en las que lo que se va eliminando por el efecto selectivo de la recolección es la tendencia al desgrane o dehiscencia espontánea de las legumbres.

En el proceso selectivo que acompaña a la domesticación de una planta se modifica su vigor, especialmente en los primeros estados de desarrollo en los que debe competir con las malas hierbas, sus antiguas hermanas, aumenta el tamaño de la semilla y su contenido en hidratos de carbono a costa de las proteínas con lo que aumenta el vigor germinativo, y desaparece el letargo pues el agricultor recoge la semilla de las plantas que han surgido a su vez de semillas no letárgicas.

La domesticación de las plantas ha tenido tal fuerza selectiva modificadora que muchas plantas agrícolas han llegado a ser tan diferentes de sus antepasados silvestres que en la actualidad no podrían sobrevivir fuera del cultivo.

El proceso selectivo del hombre primitivo e incluso hasta hace dos siglos es semejante al que en la actualidad se conoce con el hombre de selección masal o en masa.

Los primeros intentos de procesos metódicos de mejora vegetal, o como se llamó en un principio y hoy todavía por algunos, selección, fueron con frecuencia erróneos por el desconocimiento de la base genética de estos procesos. Así, ya un siglo antes de Cristo, Columela recomendaba utilizar en el trigo las semillas más grandes procedentes de las espigas de mejor aspecto. No hace muchos años pude leer en el consultorio agrícola de una revista española que se aconsejaba a un agricultor que para mejorar su cebada partiera de la reproducción del mejor grano, de la mejor espiga, de la mejor planta del campo, cuando la descendencia de este grano, si se trataba de una verdadera variedad homocigótica de cebada, sería de igual productividad que la del peor grano, de la peor espiga, de la peor planta del campo.

No obstante es evidente que hubo progresos muy importantes en la mejora de las plantas agrícolas antes del descubrimiento y divulgación de las leyes de Mendel, como nos lo pueden mostrar algunos ejemplos.

Las distintas variedades de lechuga arrepollada ya se habían diferenciado en Francia en el siglo XVII. Algunas de estas variedades subsisten en la actualidad.

También en Francia se mencionan, en el siglo XVI dos variedades de espinaca que difieren en la forma de su semilla, puntiaguda en la una y redondeada en la otra. Dado que la espinaca es una planta dioica es evidente que debían conocer el sistema de reproducción para poder conservar las características varietales.

Podría decirse que fué a comienzos del siglo XVII cuando tuvo lugar la iniciación de la sustitución gradual de los métodos aleatorios y de selección inconsciente por métodos sistemáticos de mejora. Una gran influencia en esta sustitución fue debida a la fundación de las primeras empresas comerciales dedicadas a la producción y comercialización de semillas. Entre éstas es obligado citar a la familia Vilmorin que estableció en 1727, en Francia, la primera de estas empresas, siendo un miembro de esta familia, Louis de Vilmorin el primero en utilizar, años más tarde, la prueba de las descendencias (prueba de pedigrí) por la que se evalúa el genotipo de una planta seleccionada mediante el estudio del fenotipo de su descendencia.

Un profesor alemán, llamado Kolreuter, es considerado hoy día como el primero en obtener y estudiar híbridos artificiales. Este profesor, en la segunda mitad del siglo XVII realizó cruzamientos tanto intraespecíficos como interespecíficos dentro del género *Nicotiana*. Comprobó el profesor Kolreuter que solamente conseguía descendencia en los cruzamientos intraespecíficos o en los realizados entre especies muy parecidas. En los cruzamientos interespecíficos en los que obtenía descendencia observó la esterilidad de las plantas híbridas. También llamó su atención la semejanza entre las descendencias de cruzamientos recíprocos y el que en las autofecundaciones subsiguientes a la obtención de un híbrido intraespecífico aparecían tipos semejantes a los parentales. Distinguió entre caracteres que presentaban dominancia y caracteres de herencia intermedia, y observó el vigor híbrido en la primera generación de algunos cruzamientos.

Un caso bien conocido de mejora vegetal premendeliana es de la remolacha azucarera, planta que desciende la remolacha silvestre, *Beta maritima*, a partir de la cual, y unos 500 años antes de Cristo, se domesticaron formas semejantes a la actual acelga, posteriormente remolachas de mesa y muy posteriormente remolachas forrajeras. En la raíz de estas últimas descubrió

Marggraf en 1747 la existencia de un contenido en sacarosa de alrededor al 6 % , en la variedad llamada "blanca de Silesia". Mediante selección masal se consiguió en Alemania, al comienzo del siglo XIX elevar este contenido hasta el 11 % y los Vilmorin completaron la tarea mediante métodos de pedigrí llegando a obtener remolachas con un 16 % de azúcar.

Otro ejemplo de mejora premendeliana, éste con la utilización de cruzamientos artificiales, nos lo ofrece la historia de la fresa *Fragaria x ananassa*. En Europa se venían cultivando desde el siglo XIV las dos especies *Fragaria moschata* y *F. vesca*, y se había intentado cruzarlas sin resultado. Desde 1624 se cultivaba la especie americana *Fragaria virginiana* en los jardines reales de París, procediendo esta especie probablemente del Canadá. Otra especie, la *Fragaria chiloensis*, de origen chileno, fué llevada por un marino a París donde un botánico llamado Duchesne la cruzó, a principios del siglo XVIII con la *F. virginiana*, obteniendo en la descendencia la *F. x ananassa* actual.

Un mejorador de nombre Knight utilizó también cruzamientos, a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX en Inglaterra para obtener variedades de trigo, guisantes y frutales.

Otro importante hito en el reemplazamiento gradual de métodos intensivos y empíricos por una experimentación organizada y sistemática fue la fundación, en el sur de Suecia, en 1886, de una asociación de agricultores para la producción y mejora de semillas. Otra asociación similar de la Suecia central se fusionó con la del sur en 1889 dando origen a la Sveriges Utsädesförening con sede en Svalöv en la que se comenzó a trabajar con trigos y avenas. Esta asociación empezó aplicando falsos conceptos ya que, en estas plantas autógamas, utilizaba métodos de selección masal por vigor y tamaño de espiga o panoja. La selección individual, que es la aplicable a variedades heterogéneas de plantas autógamas, comenzó a utilizarse por dos de los investigadores de esta asociación, Nilsson en 1901 y Nilsson-Ehle en 1909. Este último fue en realidad uno de los primeros mendelianos y son clásicos sus estudios de segregaciones transgresivas que explicó por la existencia de factores mendelianos polímeros y que utilizó para obtener variedades más precoces y más resistentes al frío.

Seis años después del redescubrimiento de las leyes de Mendel en 1901, Bateson bautizaba a la nueva ciencia con el nombre de "Genética". Esta nueva ciencia, en sus principios, había de contribuir muy poco al antiguo arte de la mejora. Los métodos empíricos tradicionales continuaban siendo aplicados por las viejas generaciones de mejoradores, algunos de los cuales ignoraban los nuevos descubrimientos mientras que otros, aun conociéndolos, se mos-

traban escépticos acerca de su valor. Así la mejora vegetal continuó su camino cierto tiempo en el primer cuarto de siglo antes de verse adecuadamente apoyada por la ciencia genética.

El mismo Bateson fue uno de los primeros en comprender que la transformación de la mejora vegetal de arte en ciencia vendría a través de la base científica que la genética proporcionaba. Es significativo también el hecho de que las Conferencias Internacionales sobre Hibridación y sobre Hibridación y Mejora de 1899, 1902 y 1906 pasaron a considerarse a partir de esta última como Conferencias Internacionales de Genética.

Poco después de la difusión de las leyes de Mendel algunos mejoradores pensaron que, conociendo la acción de los genes, sus relaciones mútuas y su localización, se dispondría de la información necesaria para una planificación ideal en la obtención de nuevas variedades, incluso con resultados predecibles. Esto no fue así debido a lo incompleto de los primeros conocimientos de genética vegetal y hubo mejoradores, incluso entre los más destacados que llegaron a opinar que la ciencia genética tendría poco valor para la mejora. Uno de los escépticos, al menos en sus primeros trabajos, fue el gran mejorador italiano Nazareno Strampelli (1866-1942), que fue el gran artífice de la batalla de trigo en Italia y que obtuvo variedades entre las que hay algunas que todavía se utilizan, sea para su cultivo, sea como genitores para obtener otras variedades mediante cruzamiento.

Algunos investigadores individuales y algunos Centros de Mejora, tanto europeos como americanos, comenzaron ya en el primer cuarto de este siglo a apreciar el valor de la información genética para los programas de mejora. Dos de los redescubridores de las leyes mendelianas, Von Tschermak y De Vries, visitaron la estación sueca de Svalöv en 1901 y 1902 y es seguro que su visita tuvo influencia en la aplicación en esa estación de los métodos de pedigrí.

La importante distinción entre genotipo y fenotipo, debida al trabajo de Johanssen sobre líneas puras, publicado en 1903, fué la base para demostrar la ineficacia de la selección cuando se realiza dentro de una línea pura.

Una personalidad fundamental en la historia de la mejora genética vegetal fue sin duda el investigador ruso Nikolai Ivanovitch Vavilov, que fue uno de los responsables de la aplicación racional de los principios genéticos a la mejora vegetal, a la que definió como "la evolución vegetal dirigida por el hombre". Después del primer cuarto de este siglo la mejora de plantas está realmente basada, de acuerdo con la idea de Vavilov, en métodos que tratan de imitar los mecanismos evolutivos de creación de variabilidad, intentando

dirigir esa variabilidad creada hacia la aparición de los tipos de plantas agrícolas más adecuados para satisfacer las necesidades humanas.

La mejora vegetal moderna es por lo tanto esencialmente genética aplicada, con una base que se extiende a la utilización como instrumentos, tanto conceptuales como técnicos, de la citología, la taxonomía y otras ciencias. También ha desarrollado la mejora genética vegetal su propia metodología científica.

Así como la mejora ha obtenido de la genética un mejor conocimiento de los procesos implicados en la variabilidad, también los propios trabajos de mejora han ofrecido a la genética no sólo preguntas sino también respuestas.

Además de las leyes de independencia y recombinación debidas a Mendel, y de la teoría cromosómica de la herencia de Morgan y su escuela, podemos señalar como aportaciones importantes de la genética a la mejora las siguientes:

- La explicación de la aparente contradicción entre la existencia de una variación cuantitativa, continua, y su determinación por factores discontinuos. Explicación que parte de que el fenotipo es el resultado de la interacción entre genotipo y ambiente, siendo la acción de este último la que transforma una variación discontinua en continua tal como explicaron en sus trabajos los ya citados Johanssen y Nilsson-Ehle.
- La existencia de lo que Vavilov llamó “centros de origen” de las plantas cultivadas y a los que parece más correcto llamar actualmente “centros de diversidad”. Estos centros fueron definidos por Vavilov después de numerosas expediciones de recolección de genotipos de plantas cultivadas en las que recorrió, entre 1916 y 1933 grandes regiones de Asia Central, del Mediterráneo, de Afghanistan, de América Central y del Sur, y del Caribe. Reunió Vavilov grandes colecciones hasta alcanzar un cuarto de millón de genotipos que incluían 36.000 trigos, 10.000 maíces, 23.600 leguminosas de grano, 23.200 plantas forrajeras, 19.000 plantas hortícolas y 12.600 frutales. Todavía se puede acudir hoy en día a estos centros de diversidad cuando parece agotarse la variabilidad de una planta cultivada, especialmente en cuanto a resistencias a nuevas razas de agentes patógenos y en cuanto a algunos caracteres de calidad.
- La “Ley de series homólogos de variación” que formuló Vavilov en 1920 tras estudios realizados en las colecciones que ya tenía reunidas.

Esta ley establece el paralelismo entre especies próximas en cuanto a los tipos de variación por caracteres homólogos. Esto permite el predecir que ha de aparecer determinado mutante en una especie cuando un mutante similar ha sido observado en otra especie filogenéticamente próxima. La obtención de altramuces dulces e indehiscentes por Sagenbusch en Alemania, tras la predicción, hecha por Baur, de la existencia de los mismos, es un buen ejemplo de la aplicación de la ley vaviloviana.

- La observación del vigor híbrido y su posterior explotación para aumentar los rendimientos de las cosechas, conseguida primero en maíz y extendida más tarde incluso a plantas autógamas mediante el manejo de la androesterilidad genéticamente regulada y de los genes restauradores de la fertilidad.
- El conocimiento del origen autoploide o alopoloide de muchas especies vegetales lo que ha permitido por un lado la creación de autopoloides artificiales imitando una vez más a los procesos evolutivos naturales. Estos autopoloides han sido en pocas ocasiones objeto de cultivo como variedades mejoradas, y en otras han servido para facilitar las transferencias génicas en cruzamientos interespecíficos. Lo mismo ha ocurrido con la creación de alopoloides artificiales, también con similar doble utilización.
- La posibilidad de inducir artificialmente mutaciones mediante rayos X demostrada en 1928 por Stadler y ampliada posteriormente con la utilización de otros tipos de radiación y de mutágenos químicos.
- La sustitución cromosómica intra e interespecífica mediante la utilización de aneuploides del tipo mono y nulisómico, lo que permite en algunas especies cultivadas quitarle a una variedad un cromosoma cargado de lo que pudieramos llamar “genes malos” y sustituirlo por otro cargado de “genes buenos” sin alterar en absoluto el resto de sus cromosomas. También la manipulación de aneuploides del tipo de las llamadas “formas de adición”, que contienen el complemento cromosómico de una especie y un cromosoma o par cromosómico de otra, ha permitido llegar a lo que llamamos “injerto cromosómico”, en el cual un segmento de cromosoma con genes de interés procedente del o los cromosomas extra, se inserta en un cromosoma de la especie cultivada aportándole una mejora en sus características agrícolas. Se puede mencionar como ejemplo la existencia en cultivo, en varios países europeos, de trigos que tienen sustituido un brazo de un cromosoma por un brazo de un cromosoma de centeno, lo que les da resistencia a royas y al oidio sin que pierdan sus características harino-panaderas.

- El planteamiento más eficaz de los procesos de selección y la mejor estimación de los resultados de la mejora mediante los modelos de la genética matemática y los métodos estadísticos.
- La mejor comprensión de las relaciones huesped-parásito que ha aportado la genética interorganísmica, lo que ha de conducir a nuevos progresos en la mejora de las resistencias de las plantas a sus enfermedades y plagas.

Merece la pena citar también algunas de las aportaciones tecnológicas que son aplicables a la mejora en este momento o en un próximo futuro. Tales son:

- Los progresos en las técnicas de hibridación interespecífica e intergenérica que permiten obtener resultados, incluso entre especies distantes, mediante la polinización retrasada, la conservación artificial de polen de parentales precoces, la aplicación de inmunosupresores a los parentales femeninos, la duplicación del número de cromosomas de uno o ambos parentales, la utilización de “polen-mentor” y el cultivo “in vitro” de embriones inmaduros.
- La obtención de varias generaciones anuales de una planta mediante vernalización y utilización de cámaras o invernaderos con regulación de temperatura, cantidad y calidad de luz, y humedad ambiental.
- La obtención en masa de haploides a partir de un híbrido segregante lo que permite, tras duplicación cromosómica alcanzar la homocigosis total, y quizá la nueva variedad, en una sola generación.

Esta obtención masal de haploides puede llevarse a cabo mediante la utilización del efecto eliminador de un citoplasma frente a cromosomas de otra especie. Tal es el caso de la cebada cultivada *Hordeum vulgare*, cuyo citoplasma elimina, en los híbridos obtenidos con *Hordeum bulbosum* como polinizador, los cromosomas de esta última especie en las primeras fases de desarrollo del embrión.

Otra interesante técnica de obtención de haploides es la de cultivo artificial de anteras, cuyos granos de polen, en medios y ambiente adecuados dan origen a “embrioides” primero y luego a plántulas que pueden llegar a desarrollarse en plantas haploides. Es probable que en las especies en las que todavía no se ha conseguido aplicar este método se consiga en el futuro mejorando las técnicas.

Una alternativa al cultivo de anteras, pero en la que el número de ejemplares haploides obtenido es reducido, es la de cultivo artificial de ovarios o de óvulos polinizados. Esta alternativa a la androgénesis es de aplicación cuando el cultivo de anteras no es posible o conduce a la androesterilidad o al albinismo.

En la mejora genética vegetal moderna hay varios puntos clave entre los que merece la pena citar:

- La creciente preocupación por lo que se ha llamado “erosión genética”, es decir por la pérdida de genes de interés al sustituirse las múltiples variedades locales por unos pocos genotipos mejorados. Durante años hemos venido reclamando los mejoradores de todo el mundo la puesta en práctica de medidas de recogida del germoplasma vegetal y la creación de “bancos” para su conservación. La FAO promovió algunas reuniones en los años sesenta en los que los genéticos vegetales expresábamos nuestra preocupación y redactábamos “recomendaciones” para los gobiernos, recomendaciones que por fin han sido atendidas en muchos países, entre ellos España, aunque desgraciadamente la recogida de material ha llegado tarde para algunas especies agrícolas.

Hay ya técnicas de conservación de semillas con viabilidad durante largo tiempo y el difícil problema que presenta el germoplasma de especies arbóreas de multiplicación vegetativa, como son muchos frutales, parece que puede resolverse mediante la crioconservación de cultivos de tejidos.

- La supresión del aislamiento de la investigación en mejora genética vegetal del conjunto de la investigación agraria. En la actualidad el mejorador no puede limitarse a lanzar sus obtenciones informando simplemente a los agricultores de que son más productivas o de mejor calidad. Esta información debe acompañarse de todos los detalles de cultivo de la nueva variedad: época, densidad y modo de siembra, suelo y climas apropiados, abonado recomendable, tratamientos fitoterapéuticos y herbicidas que tolera, técnicas de cultivo y recolección y utilización de los productos.
- La creciente importancia que va adquiriendo el objetivo “calidad” en los programas de mejora, tras la consecución de altos niveles de productividad.
- El cambio que se ha producido en la orientación de la mejora respecto a resistencia a enfermedades. La idea central en los programas hasta hace

pocos años era la de introducir en las variedades que se obtenían el mayor número posible de genes para el tipo de resistencia llamado "vertical", siendo cada gen responsable de la resistencia a un solo genotipo del agente patógeno. Con ello una variedad lanzada como resistente dejaba de serlo en cuanto aparecía un nuevo genotipo patógeno por mutación, recombinación o inmigración. Las ideas actuales van más hacia la consecución del tipo de resistencia llamado "horizontal" en el que si bien no se llega a alcanzar la inmunidad, se consigue controlar el nivel de ataque del patógeno haciendo mínimas las pérdidas de cosecha. Ya hay centros de mejora que están utilizando como genitores en sus cruza- mientos a genotipos desprovistos de genes para resistencia vertical que oscurecerían la aparición, por recombinación, de la resistencia horizontal.

- La mayor intervención de los fisiólogos en los equipos de mejora vegetal, para incluir en los programas el aumento de la eficacia de las plantas en cuanto a utilización de fertilizantes y a la fotosíntesis. Es posible que un mejor conocimiento del control genético de diversos procesos fisiológicos permita su manipulación para sobrepasar los actuales niveles de productividad.

En las técnicas de la mejora genética vegetal, como ocurre en muchas aplicaciones de las ciencias ha habido oleadas de "modas", las cuales, si bien pueden ser un peligro para una racional distribución de los fondos dedicados por el Estado a la investigación también pueden ser, adecuadamente manejadas, un arma ventajosa.

Existe el peligro, tras la aparición de una nueva técnica, de que se la considere, sin serlo, como la panacea que es capaz de resolver todos los problemas. Mucho daño hacen los periodistas encargados de la divulgación científica y amantes de titulares sensacionalistas cuando dan cuenta de procedimientos o técnicas "revolucionarios". Las autoridades encargadas de la distribución de fondos para la investigación pueden deslumbrarse y descuidar la financiación de programas que utilicen métodos "clásicos", que muchas veces son de más seguro rendimiento.

En la mejora genética vegetal han estado de moda técnicas tales como la producción de poliploides, la mutagénesis artificial, los modelos matemáticos y últimamente los cultivos de tejidos, los protoplastos y la mal llamada ingeniería genética.

El descubrimiento de la acción poliploidizante de la colchicina y el estudio de las características de algunas plantas autopoliploides artificiales, espe-

cialmente su aumento de tamaño, llevó a creer que la duplicación del número de cromosomas de una planta llevaría automáticamente a la consecución de una variedad más productiva. El transcurso del tiempo demostró que la autopoliploidía artificial sólo dió buenos resultados en unas pocas plantas agrícolas tales como remolachas azucareras y forrajeras, centeno, tréboles, nabos y chopos, y también dejó probada su importancia en la preparación de genitores para cruzamientos entre especies de diferente nivel cromosómico.

Algo semejante ocurrió con la aloploidiploidía en la que los resultados de obtención directa de nuevas especies cultivables se han reducido a los festulolium (aloploides de festuca y raigrás), los triticales (aloploides de trigo y centeno), algunos nuevos tipos de coles y poco más. También han demostrado su utilidad los aloploides artificiales para extender el campo de la hibridación interespecífica.

La inducción artificial de mutaciones puede citarse como otra moda que nos ha dejado unos pocos buenos resultados y que ya está en su sitio como eficaz instrumento de trabajo para algunos casos, tales como la obtención de células mutantes resistentes a patotoxinas, siempre que a partir de estas células se puedan regenerar plantas y siempre que la resistencia de las plantas adultas a la correspondiente enfermedad dependa de la resistencia de las células a la patotoxina. La situación respecto a la moda de la mutagénesis artificial llegó a tal extremo que no había país tercermundista que solicitara ayudas para investigación en mejora genética vegetal que no incluyera en sus peticiones instalaciones de rayos X o campos de irradiación gamma, para intentar crear por mutación una variabilidad genética que es muy posible que ya existiera en su germoplasma nacional, que nadie se había preocupado de estudiar.

Los modelos matemáticos son indudablemente muy útiles en genética aplicada, cuando se utilizan adecuadamente, pero siempre hay que tener en cuenta que para la creación de modelos hay que aplicar muchas restricciones y, cuantas más restricciones se aplican menos se parece a un ser vivo aquello que se introduce en la computadora.

Son espectaculares los avances en técnicas bioquímicas, en genética molecular y en cultivo de tejidos, células y protoplastos, y es seguro que estas técnicas tendrán una importante aplicación en la mejora genética vegetal en un futuro inmediato. Pero no habrá que abandonar por el momento de ninguna manera las técnicas clásicas de mejora mediante creación de variabilidad imitando los procesos de la evolución vegetal seguida de selección de los mejores segregantes. Tampoco hay que abandonar para el futuro, sino todo lo contrario utilizar cada vez más, la explotación de la heterosis mediante

obtención de semilla híbrida en nuevas plantas.

También en un futuro inmediato habrá que pensar en ir cambiando la finalidad de la hibridación entre especies distantes y del retrocruzamiento, técnicas que se vienen utilizando para incorporación de caracteres cualitativos de especies silvestres a especies cultivadas. Estos caracteres cualitativos de resistencia a enfermedades o contenido en proteína, en una vitamina o en un aminoácido, cederán parte de su lugar en las transferencias interespecíficas a caracteres cuantitativos tales como componentes de la productividad, índices de cosecha, capacidad fotosintética y otros. Dado que se trata de caracteres poligénicos y estando los poligenes implicados repartidos por distintos cromosomas del complemento de la especie, parece en principio que será difícil separarlos de sus ligamientos con las características silvestres, o no agrícolas, de la especie donante, pero habrá que intentarlo para romper los elevados techos de productividad en algunas plantas agrícolas tales como el maíz, el arroz y el trigo.

Otro interés futuro inmediato ha de ser el de la domesticación y mejora de nuevas especies silvestres, no sólo en las que han dado buenos resultados en domesticaciones recientes, tales como plantas forrajeras, medicinales y forestales, sino también en otros tipos de cosechas que se necesitan con urgencia como son especies que produzcan celulosa para fabricación de papel, especies que suministren proteínas nobles y especies que ofrezcan nuevos aceites vegetales para la industria.

Entre los objetivos de la mejora vegetal se ha de dar cada vez más importancia a la "capacidad nutricia" de las plantas. Se pueden obtener importantes incrementos en la productividad vegetal con la manipulación genética de los requescimientos nutritivos de las plantas.

La nueva genética interorganísmica ha de contribuir, mediante el estudio y mejora de simbiosis paralelas a las de leguminosa-*Rhizobium*, a ahorrar fertilizantes nitrogenados cuya producción consume enormes cantidades de energía.

Se han descubierto en la última década asociaciones de cereales y gramíneas forrajeras tropicales con bacterias fijadoras de nitrógeno. En el arroz, el maíz, la caña de azúcar y los mijo se han encontrado bacterias en diferente grado de asociación con las raíces, que van desde la simple proximidad a la infección de las células corticales. Las actividades de fijación de nitrógeno llegan, en condiciones artificiales, a los 117 Kg por Ha y año, aunque en experimentos de campo no se pase de los 40 Kg. Un nuevo género bacteriano, *Azospirillum*, cuya asociación con gramíneas tropicales es

endorrizosférica, parece ser de gran interés, y la genética interorganísmica habrá de trabajar en la interacción de genotipos de planta y bacteria para aumentar la eficacia de las fijaciones de nitrógeno.

Un objetivo quizá un poco más lejano en el futuro de la genética interorganísmica ha de ser el intento de obtener simbiosis de plantas cultivadas con algas verde-azuladas fijadoras de nitrógeno. El hecho de que existan algunas de estas asociaciones, como los del género *Bunnaria* con algas del género *Nostoc*, nos permite suponer, como aplicación de la ley de variación homóloga de Vavilov, que podrán obtenerse tales asociaciones en otras plantas, quizá a través de la absorción de las algas por protoplastos de plantas cultivadas.

Otro objetivo futuro de la mejora genética vegetal ha de ser el de la eficacia fotosintética. La fotosíntesis es responsable de más del 90 % del total de la materia seca de un vegetal y, sin embargo, la eficacia de utilización de la energía solar por las plantas no suele pasar del 1 % . Los genotipos de muchas plantas cultivadas tienen menor eficacia fotosintética que sus antepasadas silvestres. Habrá que trabajar tanto en la estructura del dosel foliar como en el propio aparato fotosintético, poniendo a punto sistemas de cribado para los programas de mejora que incluyan estos objetivos.

Se han propuesto como métodos directos de mejora de la actividad fotosintética la selección en cultivos de tejidos vegetales sometidos a fuerte iluminación y a una atmósfera de anhídrido carbónico, y también la selección de genotipos en los que exista una prolongación genético-fisiológica del estado funcionalmente activo de los cloroplastos o un retraso en la senescencia foliar.

La utilización de protoplastos en la mejora genética vegetal es una técnica muy en boga actualmente, y que ha de ofrecer buenos resultados en aquellas plantas en las que se consiga su obtención y cultivo, así como la regeneración de plantas adultas a partir de ellos.

Mediante el cultivo de protoplastos se consigue la clonación de genotipos cuya multiplicación por vía sexual resulte difícil o imposible. Pueden también utilizarse los protoplastos como unidades de selección, tras tratamiento mutagénico, siempre que se disponga de una técnica de cribado para aislar los mutantes programados. La absorción por protoplastos de orgánulos, segmentos de ADN, bacterias fijadoras de nitrógeno o algas verde-azuladas es otra interesante posibilidad de utilización. También, con técnicas de cribado adecuadas, pueden aislarse productos de fusión de cloroplastos de dos especies diferentes obteniéndose, tras regeneración, híbridos somáticos o alopoides.

Los avances en genética molecular permiten suponer que puede modificarse la información genética de las células vegetales mediante transformación con ADN exógeno.

Gran parte de los conocimientos de transformación por ADN se deben a experimentación con procariontes siendo incluso, en algunos de ellos, un mecanismo natural de recombinación. En las plantas la estructura del genoma es diferente que en los procariontes por lo que resulta difícil a veces extrapolar la información sobre transformación, obtenida en estos últimos, a las plantas.

Pero ya existen referencias de transformación en eucariontes y concretamente en vegetales. En algunos casos ha bastado el tratamiento de semillas con ADN extraído de otro genotipo para que resulten transformadas algunas plantas procedentes de las semillas tratadas. Un significativo experimento fue el de la corrección, en *Arabidopsis thaliana*, de la deficiencia en tiamina, tratando semillas con ADN bacteriano extraído de genotipos sintetizadores de tiamina.

Recientemente han mejorado las técnicas, utilizando como material receptor polen, cultivos de tejidos y protoplastos, y protegiendo el ADN transformante dentro de fagos. El descubrimiento de endonucleasas de restricción y de ligasas permite utilizar también plasmidios y algunos virus, tales como el del mosaico de la coliflor, como vehículos para la transferencia de genes.

Un plasmidio que se está intentando utilizar es el llamado Ti de *Agrobacterium tumefaciens*, bacteria que induce formaciones tumorales en plantas dicotiledóneas. El plasmidio Ti es el responsable de las propiedades oncogénicas de la bacteria y en cierto segmento contiene la información para la síntesis de las llamadas opinas: octopina y nopalina. Las células vegetales invadidas por el plasmidio Ti producen y segregan opinas que son utilizadas por la bacteria como fuente de carbono y de nitrógeno. Se ha logrado incorporar al plasmidio Ti un transposón para resistencia a antibióticos construyendo así un vector que puede integrarse en el genoma vegetal.

Los genéticos moleculares sueñan con la transferencia a las plantas de los genes para fijación de nitrógeno o genes *nif*, presentes en bacterias, a través de un plasmidio Ti manipulado o bien del virus del mosaico de la coliflor reestructurado como vector y transformado en ineficaz como patógeno. El hecho de que algunas estirpes de *Rhizobium* sean capaces de fijar nitrógeno sin contacto con plantas leguminosas permite suponer que puedan funcionar los genes *nif* en plantas no leguminosas.

Otra técnica que cabe dentro de la errónea denominación de "ingeniería genética" es la "transformación gamética" en la que se poliniza una planta con un polen extraño donante acompañado de un "polen mentor" compatible muerto por irradiación o tratamiento químico. En algunos casos el polen mentor proporciona sustancias que permiten una polinización con el polen de otra especie o al menos la incorporación de parte de su ADN al óvulo de la planta que actúa de genitor femenino.

Permítaseme terminar con una consideración sobre la posición de la mejora vegetal y con un consejo a los mejoradores.

En la mejora genética vegetal actual el científico genera nuevos conocimientos pero, a diferencia de otros científicos, su objetivo final es una entidad biológica tangible, el nuevo genotipo, la nueva variedad. Esta obtención ha de tener valor comercial porque su éxito se decide en los campos del agricultor, en el mercado y en la fábrica, por lo que el mejorador tiene que asimilar las demandas cambiantes del agricultor, el consumidor, el comercio y la industria.

El consejo que quiero dirigir a los mejoradores tiene que ver con la, a veces difícil, obtención de una financiación adecuada para sus trabajos. Las modas tienen a veces un papel positivo importante en esta obtención y será prudente incluir en las propuestas de proyectos cierta dosis de técnicas en moda, de palabras mágicas para obtención de fondos, tales como ecología, medio ambiente, biotecnología, agroenergética, ingeniería genética y otras. Pero junto a los métodos nuevos, por muy revolucionarios y prometedores que sean, hay que seguir utilizando los más seguros métodos "clásicos" de rendimiento ya probado. Con ello se asegurarán resultados en la obtención de plantas más productivas y de mejor calidad que son tan necesarias para el bienestar de la humanidad.

BIBLIOGRAFIA

- Abelson, P.H. (Ed.) 1975. *Food: Politics, Economics, Nutrition and Research*. A.A.A.S., 202 págs.
- Belliard, G., P. Leclercq et G. Pelletier. 1981. Hybridation interspécifique et amélioration des plantes. *C.R.S. L'Acad. D'Agric. de France*, **67**: 1041-1051.
- Bernhard, R. 1981. Hybridation interspécifique et amélioration des plantes. *C.R.S. L'Acad. D'Agric. de France*, **67**: 1013-1024.
- Brown, J.C. 1979. Genetic improvement and nutrient uptake in plants. *Bio-Science*, **29**: 289-292.

- Burgoon, A.C. and P.J. Bottino. 1977. Uptake of the nitrogen fixing blue-green alga *Gloeocapsa* by plant protoplasts. *Genetic Engineering for Nitrogen fixation*: 213-229.
- Carlson, P.S. (Ed.) 1980. *The Biology of Crop Productivity*. Academic Press. 469 págs.
- Cauderon, Y. 1981. Hybridation interspécifique et amélioration des Plantes. *C.R.S. L'Acad. D'Agric. de France*, **67**: 1001-1012.
- Charrier, A. et M. Bernard. 1981. Hybridation interspécifique et amélioration des plantes. *C.R.S. L'Acad. D'Agric. de France*, **67**: 1025-1040.
- Child, J.J. 1976. New developments in nitrogen fixation research. *BioScience* **26**: 614-617.
- Döbereiner, J. 1979. Fixação de Nitrogeno en Gramíneas Tropicais. *Inter-Sciencia*, **4**: 200-205.
- Gabelman, W.H. and G.C. Gerloff. 1978. Isolating plant germplasm with altered efficiencies in mineral nutrition. *HortScience*, **13**: 682-684.
- Gengenbach, B.G., C.E. Green and C.M. Donovan. 1977. Inheritance of selected pathotoxin resistance in maize plants regenerated from cell culture. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **74**: 5113-5117.
- Giovannelli, B. 1946. Nazareno Strampelli. *Genet. Agr.*, **1**: 5-8.
- Harris, M.K. 1979. *Biology and Breeding for Resistance*. Texas A&M University, 605 pags.
- Hayes, H.K. 1957. A half-century of crop breeding research. *Agron. J.*, **49**: 626-631.
- Holl, F.B. 1985. Innovative approaches to genetics in agriculture. *Canad. J. Genet. Cytol.*, **17**: 517-524.
- Jones, Q. and I.A. Wolff. 1960. The Search for new Industrial Crops. *Economic Botany*, **14**: 56-68.
- Kelinhofs, A. and R. Behki. 1977. Prospects for plant genome modification by nonconventional methods. *Ann. Rev. Genet.* **11**: 79-101.
- Korohoda, J. and K. Strazalka. 1979. High efficiency genetic transformation in maize induced by Exogenous DNA. *Z. Pflanzenphysiol.*, **94**: 95-99.
- Kupzow, A.J. 1975. Vavilo's law of homologous series at the fiftieth anniversary of its formulation. *Economic Botany*, **29**: 372-379.
- Lacadena, J.R. 1968. *Genetica Aplicada*. Caja Ahorros Zaragoza, 63 págs.
- Leppik, E.E. 1969. The Life and Work of N.I. Vavilov. *Economic Botany*, **23**: 128-132.
- Mac Key, J. 1962. The 75 years development of Swedish Plant Breeding. *Hodowla Roslin Aklimatyzacja I Nasiennictwo*, **6**: 437-467.
- Maheshwari, S.C., N. Maheswari and K. Malhotra. 1980. Genetic manipulation of higher plant cells: Retrospect and Prospect. *Sci. Prog. Oxf.*, **66**: 435-450.

- Mangelsdorf, P.C. 1965. Genetics, agriculture, and the world food problems. *Proc. Amer. Philosophical Soc.*, **109**: 242-248.
- Markham, R., D.R. Davies, D.A. Hopwood and R.W. Horne (Eds.) 1975. *Modification of the Information Content of Plant Cells*. North-Holland/American Elsevier, 350 págs.
- Melchers, G. 1977. The combination of somatic and conventional genetics in plant breeding. *Plant Res. Develop.*, **5**: 86-110.
- Müntzing, A. 1951. Genetics in relation to Plant Breeding. *Proc. Indian Acad. Sciences*, **XXXIV**: 227-241.
- Müntzing, A. 1966. On the evolution and breeding of cultivated plants. *Indian J. Genet.*, **26A**: 3-13.
- Noronha-Wagner, M., T. Mello-Sampayo e A. Câmara. 1965. Genética no Melhoramento de Plantas. *Livro de Homenage ao Professor Fernando Fonseca*, págs. 233-250.
- Ozbun, J.L. 1978. Photosynthetic efficiency and crop production. *Hort-Science*, **13**: 678-679.
- Pandey, K.K. 1977. Mentor pollen: Possible role of wall-held pollen growth promoting substances in overcoming intra- and interspecific incompatibility. *Genetica*, **47**: 219-229.
- Pandey, K.K. 1981. Transformation: New horizons in plant improvement. *New Zealand Agric. Science*, **15**: 41-48.
- Rajhathy, T. 1977. Plant breeding evolving. *Can. J. Genet. Cytol.*, **19**: 595-602.
- Rees, H., R. Riley, E.L. Breese and C.N. Law (Eds.). 1981. The Manipulation of Genetic Systems in Plant Breeding. *The Royal Society. London*, 609 págs.
- Riley, R. 1967. Plants: off-the-peg or made-to-measure. *Advancement of Science*, 217-224.
- Robinson, R.A. 1980. New concepts in breeding for disease resistance. *Ann. Rev. Phytopathol.*, **18**: 189-210.
- Sánchez-Monge, E. 1974. *Fitogenética*. INIA, Madrid, 456 págs.
- Sánchez-Monge, E. 1980. Unorthodox methods of wheat breeding. *Proc. 3rd Int. Wheat Conf.*, 53-61.
- Singleton, W.R. 1950. Some high lights of the first half century of genetics. *The Scientific Monthly*, **LXXI**: 401-407.
- Smith, R.L., J.H. Bouton, S.C. Schank., K.H. Quesenberry, M.E. Tyler, J.R. Milan, M.H. Gaskins and R.C. Litell. 1976. Nitrogen fixation in grasses inoculated with *Spirillum lipoferum*. *Science*, **193**: 1003-1005.
- Sneep, J. 1966. Some facts about plant breeding before the discovery of Mendelism. *Euphytica*, **15**: 135-140.
- Sprague, G.F. 1980. Germplasm resources of plants: Their preservation and use. *Ann. Rev. Phytopathol.*, **18**: 147-165.

- Stanwood, P.C. 1980. Tolerance of crop seeds to cooling and storage in liquid nitrogen (-196°C). *Jour. of Seed Technology*, 5:26-31.
- Stanwood, P.C. and L. N. Bass. 1981. Seed germplasm preservation using liquid nitrogen. *Seed Sci & Technol.*, 9: 423-437.
- Stevens, M.A. and J. Rudich. 1978. Genetic potential for overcoming physiological limitations on adaptability, yield and quality in the tomato. *HortScience*, 13: 673-677.
- Stoner, A.K. 1978. Breeding vegetables tolerant to environmental stress. *HortScience*, 13: 684-686.
- Uhlinger, R.D. 1982. Wide crosses in herbaceous perennials. *HortScience*, 17: 570-574.
- Vasil, I.K. (Ed.) 1980. *Perspectives in Plant Cell and Tissue culture*. Academic Press, 257 pags.
- Wegryzn, V.A., R.R. Hill and D.E. Baker. 1980. Soil fertility-crop genotype associations and interactions. *Journal of Plant Nutrition*, 2: 607-627.
- Wellensiek, S.J. 1952. The indirect Service of Genetic to Breeding. *Report of the Thirteenth International Horticultural Congress*.
- Yang, H.Y. and C. Zhou. 1962. In vitro induction of haploid plants from unpollinated ovaries and ovules. *Theor. Appl. Genet.*, 63: 97-104.
- Xambryski, P., M. Holsters, K. Kruger, A. Depicker, J. Schell, M. Van Montagu and M. Goodman. 1980. Tumor DNA structure in plant cells transformed by *A. Tumefaciens*. *Science*, 209: 1385.
- Zeven, A.C. and A.M. van Harten (Eds.) 1979. *Broadening the Genetic Base of Crops*. Pudoc. 347 pags.
- Zobel, R.W. and D.H. Wallace. 1978. Potential for nitrogen fixation in vegetables. *HortScience*, 13: 679-682.