

Genética y producción de mejores variedades de especies vegetales*

por

*Alejandro Violić M.***

Las especies vegetales constituyen sin duda la base de la vida en la tierra, donde el hombre puede considerarse como huésped del reino vegetal, ya que su subsistencia depende de los compuestos orgánicos sintetizados por las plantas autotróficas y del oxígeno proveniente de su proceso fotosintético.

De un total de poco más de 250.000 especies vegetales conocidas, 3.000 se usan como fuente de alimento, pero sólo 300 se cultivan en forma intensiva. Sin embargo, el 95% de la producción total anual proviene de no más de una docena de especies. Las plantas no solamente alimentan al mundo sino que proporcionan, además, gran parte del abrigo y elementos complementarios. La madera y derivados, drogas, fibras y especias constituyen sólo algunos ejemplos. Los fósiles vegetales, por otra parte, son la base de las reservas de combustible del mundo y, por lo tanto, su fuente primordial de energía.

*Conferencia leída el 26 de mayo de 1966 en el Salón de Honor de la Universidad de Chile en ocasión al acto académico con que la Sociedad de Genética de Chile conmemoró el centenario de la publicación de los experimentos de Mendel.

**Ingeniero Agrónomo, Ph. D., Profesor Cátedra Genética Vegetal Aplicada, Facultad de Agronomía, Universidad de Concepción. Jefe Proyecto Mejoramiento de Maíz, Instituto de Investigaciones Agropecuarias.

Las plantas cultivadas no siempre han sido tan productivas y útiles como ahora. Con anterioridad a los comienzos de la civilización, el hombre aceptaba lo que la naturaleza le proporcionaba, pero a medida que fue desarrollando sus poderes de percepción y discernimiento, se percató de que algunas especies y ciertos tipos dentro de éstas, eran capaces de producir más y mejores alimentos que otros. Este hecho, que debió haber ocurrido en los amaneceres de la prehistoria, fue el primer paso dado por el hombre primitivo para seleccionar plantas de acuerdo con sus necesidades. Hasta entonces, sólo había dependido de la selección natural ejercida por la naturaleza, cuyas presiones selectivas permitían la sobrevivencia de sólo aquellos tipos capaces de resistir condiciones ambientales extremas. Esta mayor independencia del hombre con respecto a la naturaleza como mejoradora de especies vegetales, fue tal vez una de las principales causas de la transformación de tribus nómades a sedentarias. Se estima que las grandes civilizaciones de Egipto y Oriente no habrían sido posibles si el hombre no hubiera llegado a descubrir, domesticar y cultivar especies como trigo, cebada y arroz. Otro tanto se podría decir de los Incas, Mayas y Aztecas, con respecto al maíz.

Cuando se escribió la historia, prácticamente todas las especies vegetales importantes habían sido ya domesticadas y el hombre moderno las recibió como legado tal cual como son actualmente. Granos de trigo de 6.700 años de antigüedad encontrados en Iraq son prácticamente iguales a los del trigo que se cultiva ahora.

No se sabe de la ocurrencia de ningún hecho científico importante entre la antigüedad y el siglo xvii, que significara un verdadero aporte de conocimientos para el mejoramiento de especies vegetales. Sin embargo, desde 1694, año en que Camerarius demostró la sexualidad en las plantas, comenzaron a ocurrir diversos eventos que permitieron iniciar, aunque lentamente, la lucha del hombre por obtener especies de mayor productividad. Es así como en 1717 Thomas Fairchild produjo el primer híbrido artificial en

claveles, pero le cupo a J. Koelreuter unos 50 años después, publicar los resultados de 136 experimentos que le permitieron demostrar que las especies pueden ser cruzadas artificialmente y que ambos progenitores contribuyen en la descendencia. Más tarde, en 1859, Darwin publicó su teoría sobre el "Origen de las Especies", la que junto con crear grandes controversias, despertó un gran interés por el mejoramiento de las plantas, ya que si de acuerdo con esa teoría las especies habían evolucionado con la ayuda de la selección natural que permitía la sobrevivencia de los tipos mejor adaptados, ¿qué no podría lograr el hombre si cooperara con la naturaleza en la selección de estos tipos superiores?

Sin embargo, ninguna contribución al conocimiento biológico ha tenido tanta influencia en el mejoramiento de especies vegetales como los trabajos de Gregorio Mendel, dados a conocer por el autor en forma oral en 1865, cuando anunció ante los miembros de la Sociedad de Ciencias Naturales de Brünn, que había encontrado ciertos principios que gobernaban el proceso de la herencia de las plantas. La publicación de estos trabajos en 1866, especificó el verdadero nacimiento de la Genética, al establecer, luego de 8 años de cuidadosos estudios e investigaciones, un conjunto de leyes básicas capaces de soportar posteriormente las pruebas de experimentaciones críticas y bien diseñadas. Treinta y cuatro años más tarde, De Vries, Correns y Tschermak, dirigidos por diversos problemas y trabajando en especies diferentes, llegaron a los mismos resultados de Mendel, abriendo un período intensísimo de investigación, cuyos resultados, aplicados a la mejora de especies vegetales, han sido de trascendental importancia económica para la humanidad. Aunque antes del año 1900 ya se aplicaban diversos métodos de mejoramiento vegetal, el establecimiento de una teoría de la herencia con base científica, permitió clasificar y definir mejor estos métodos. Por ejemplo, sistemas de mejoramiento como el de la "Selección de plantas individuales", aunque ya habían sido usados exitosamente por Shirreff, Le Couteur y Vilmorin

a mediados del siglo XIX, sólo alcanzaron su verdadera importancia e interpretación muchos años después, pese a que este último, aplicando sus principios, había logrado aumentar el contenido de sucrosa en remolacha azucarera, de 7,5 a 14%.

A partir de 1900 ocurrieron numerosos avances científicos que permitieron progresar desde la simple selección hasta métodos más complejos de mejoramiento. El conocimiento de las bases cromosomales de la herencia, tales como herencia independiente, ligamiento, factores múltiples y modificantes, interacción de factores, y posteriormente la herencia citoplasmática, ha sido de capital importancia para el fitogenetista. A ello debe sumarse la importancia que ha tenido el desarrollo de técnicas especiales que han permitido la inducción de la poliploidía para el estudio de auto y alopoliploides, y el análisis de genomas para un mejor entendimiento de especies poliploides, lo que ha resultado en la obtención de autotetraploides en trébol y triploides en betarraga sacarina y otras especies. También se han logrado algunos anfidiplóides intergenéricos como son los triticales, resultantes de cruzamientos entre trigo y centeno, y cruzamientos entre *Triticum* y *Agropyron*, con el propósito de obtener trigos perennes. Estos últimos presentan aun ciertos problemas como inestabilidad genética y citológica, incapacidad para estabilizar su número cromosomal y baja fertilidad, que deberán ser resueltos.

Los análisis de monosómicos y nulisómicos han contribuido notablemente al estudio y mejoramiento del trigo; y la aislación de translocaciones cromosomales, inversiones, duplicaciones y deficiencias han sido factores básicos en el estudio de la herencia de caracteres cualitativos y cuantitativos en varias especies, principalmente maíz y cebada.

El conocimiento básico del número cromosomal en diversas especies y las relaciones genómicas, han facilitado la transferencia de genes específicos entre especies relacionadas, pero de distintos complementos cromosomales.

En las últimas décadas, y como consecuencia de los descubrimientos de Müller y Stadler, se ha trabajado activamente en la inducción de mutaciones, especialmente en Suecia, donde se ha dado un gran impulso a la creación de variabilidad mediante rayos X, gama y neutrones. En esta forma se han obtenido los mutantes de tipo erectoide en cebada, nuevas variedades de raps con mayor rendimiento en grano y aceite, mutaciones somáticas de interés en frutales, etc.

La aplicación de la estadística a los análisis de comparaciones biológicas derivadas de investigaciones bien diseñadas, ha desempeñado un papel importante en la selección de mejores técnicas de mejoramiento vegetal. Desde 1920, época en que Fisher, Haldane y Wright establecieron las bases teóricas de la genética cuantitativa, se han tratado de deducir las consecuencias de la aplicación de la herencia mendeliana a poblaciones y a la segregación simultánea de gran número de genes para predecir las posibles consecuencias de la aplicación de planes específicos de mejoramiento, sin dejar de considerar la importancia relativa del genotipo y del medio ambiente en la producción de un fenotipo dado.

Pocas contribuciones en el campo de la agricultura han tenido un efecto tan profundo como el mejoramiento de especies y variedades de diversos cultivos. El interés por el mejoramiento de las plantas es universal y prácticamente cada país tiene su grupo de fitomejoradores que en muchos casos han revolucionado las variedades de uso corriente, haciéndolas más adaptadas, de mejor rendimiento, más confiables, de mejor calidad, y con un menor costo de producción. Como ejemplo, en los últimos 60 años, más de 5.000 nuevas variedades de diversas especies han sido producidas en toda América, y su ritmo actual de producción es del orden de 100 o más por año, incluyendo cereales, leguminosas, hortalizas y especies frutales. Seguramente, el número de nuevas

variedades producidas anualmente por los fitogenetistas de todo el mundo es varias veces mayor.

En lo que va corrido de este siglo, la producción mundial de alimentos aumentó en 2,5 veces. Parte importante de este incremento se debe al uso de variedades mejoradas, resultantes de la integración de genotipos superiores que les confieren una alta capacidad de producción. En este sentido, los avances han sido tan espectaculares que prácticamente la totalidad de las variedades actualmente cultivadas eran desconocidas hace tan sólo 25 ó 30 años. Este mejoramiento ha sido posible debido a la gran variación que existe dentro de cada especie, donde algunas plantas son superiores a otras en diversos caracteres. La explotación de esta variabilidad en el sentido de aislar individuos superiores, o aislar en una sola variedad el mayor número de genes que controlan los mejores caracteres presentes en una especie, constituyen la base del mejoramiento.

Aunque existen numerosos ejemplos que pueden ilustrar el significado de la aplicación de la genética al mejoramiento vegetal, ninguno ha tenido tanto alcance como el de la obtención del maíz híbrido. Aunque el vigor híbrido se conoce desde hace más de 200 años, solamente a comienzos de este siglo, y como consecuencia del redescubrimiento de los trabajos de Mendel, se profundizó el estudio de esta fase de la herencia cuantitativa, que culminó con la formulación de diversas teorías por parte de East, Shull, Jones y otros, para explicar la heterosis. La aplicación directa de este concepto y de los principios mendelianos al mejoramiento del maíz permitió la producción de híbridos que rápidamente reemplazaron las antiguas variedades tradicionales. Este cambio permitió que EE. UU. aumentara en pocos años sus rendimientos unitarios en un 40%, con una mayor producción anual de maíz del orden de 1.000 millones de dólares.

En Chile, la sustitución, aunque parcial, de variedades de polinización no controlada por híbridos, ha significado, desde 1950

a la actualidad, la duplicación de los rendimientos unitarios promedio del país, y una mayor producción anual estimada en más de E° 30.000.000.

La heterosis ha sido también explotada en gran escala en otras especies como: Caña de azúcar, betarraga azucarera, sorgo, tomate, cebolla, sandía, plantas ornamentales, etc., y últimamente, a raíz de investigaciones que han permitido aislar líneas portadoras de macho-esterilidad citoplasmática y líneas con factores que restauran la fertilidad en el F_1 , se ha logrado obtener variedades experimentales de trigo híbrido de alto rendimiento. La producción comercial de esta semilla, traerá consigo un cambio total en el abastecimiento mundial de este cereal.

La obtención de variedades de mayor rendimiento, es sólo una fase del mejoramiento vegetal. Los fitogenetistas han abordado además otros problemas no menos importantes, tales como el de formar variedades capaces de prosperar en áreas geográficas que no corresponden a las de dispersión normal de la especie, para lo cual, han tenido que adaptar su período de crecimiento a condiciones de fotoperíodo, temperatura, humedad, etc., distintas a las normales. En el Estado de Minnesota, por ejemplo, el maíz era un cultivo prácticamente desconocido hasta 1920. Hoy se cultivan allí más de 4.000.000 de hectáreas con híbridos especialmente formados para esa región.

En otros casos, ha sido necesario introducir modificaciones importantes a algunas especies, con el propósito de hacer más económica su producción. Por ejemplo, la producción mecanizada de sorgo, no sería posible con las antiguas variedades de más de tres metros de altura. Sorgos enanos, producto de la incorporación de mutantes recesivos que controlan la longitud de los entrenudos del tallo sin afectar el área foliar y precocidad, han sido adaptados a la cosecha mecanizada. Por otra parte, la obtención de nuevos híbridos de tomate, de madurez uniforme, también ha permitido la recolección mecanizada de la cosecha. El mejoramiento del

trigo con el propósito de producir variedades de caña firme, y corta, ha facilitado el uso de cosechadoras de gran rendimiento.

El mejoramiento de la calidad en diversas especies es una de las fases de la investigación que está adquiriendo una importancia cada vez mayor. El aumento del contenido proteico en trigo y calidad de las proteínas, la obtención de variedades de tomate con un mayor contenido de vitaminas, la selección de genotipos en cebada cervecera capaces de determinar un mayor porcentaje de amilosa, la obtención de especies forrajeras de mejor palatabilidad, y de pasto Sudán con un menor contenido de ácido hidrocianico, etc., son sólo unos pocos casos ilustrativos.

El mejoramiento en relación a todos los aspectos mencionados no hubiera sido completo o posible si los fitomejoradores no hubieran dedicado una buena proporción de sus esfuerzos a la obtención de variedades resistentes a algunas de las principales enfermedades. Este aspecto, puede considerarse como uno de los triunfos más espectaculares en la agricultura moderna por su efecto en la estabilidad y economía de la producción de alimentos y fibras. La cosecha mundial de cereales, azúcar, caucho, café y otras especies no menos importantes, depende directamente de la resistencia de estas especies a algunas enfermedades criptogámicas. En Chile, las pérdidas anuales provocadas por el polvillo o roya alcanzan al 15% de la producción anual de trigo, o sea a más de E° 45.000.000, dado que no todas las variedades de que se dispone poseen resistencia a las especies y razas prevalentes de estos hongos. Sin embargo, si no contara con variedades resistentes al *Puccinia graminis*, no sería posible la siembra de trigo en forma económica en la región comprendida entre Atacama y Linares, donde se cultiva el 35% del área dedicada a este cereal.

En la mayoría de los casos, la resistencia ha sido transferida de una variedad a otra mediante hibridaciones, pero en casos especiales, ha tenido que ser obtenida de especies o géneros relacionados. Es así como la incorporación al trigo común de un segmen-

to cromosomal de *Aegilops umbellulata* portador de genes para resistencia a la roya de la hoja, ha permitido obtener genotipos de trigo resistentes a esta enfermedad. En caña de azúcar, se ha logrado resistencia a una enfermedad virosa, mediante cruzamientos interespecíficos e intergenéricos.

Aunque muchos patógenos presentan una gran estabilidad en cuanto a la reacción que son capaces de provocar en sus huéspedes, existen otros que por mutación, hibridación o heterocariosis alteran sus genotipos, provocando reacciones patogénicas en variedades anteriormente resistentes. Por estas razones, la vida útil de algunas variedades mejoradas para resistencia puede tornarse muy corta. Como consecuencia, en Norteamérica, nuevas variedades de avena resistentes a la roya causada por *Puccinia coronata*, deben ser reemplazadas por otras con nuevos factores para resistencia, después de sólo 4 ó 5 años de cultivo.

En lo que a insectos se refiere, las investigaciones sobre resistencia genética no han sido tan intensas. Sin embargo, se han logrado importantes avances de tanta trascendencia económica como es el de la obtención de fuentes de resistencia al ataque de la mosca del trigo, *Phytophaga destructor*, que en algunas regiones de los EE. UU. causaban pérdidas anuales por más de us\$ 37.000.000. Varios genes para resistencia, fueron determinados en variedades de trigo de 28 y 42 cromosomas y transferidos mediante cruzamientos regresivos a variedades susceptibles. Resistencia a otros insectos que afectan al maíz, cebada, algodón, vid, soya, sorgo, etc., también ha sido encontrada y usada exitosamente en los programas de mejoramiento de diversos países.

Todos estos casos no son sino unos pocos ejemplos de lo que ha significado la aplicación de la Genética al mejoramiento de especies vegetales. Es importante destacar que estos adelantos están ocurriendo justamente en una época en que los avances de la ciencia y tecnología son más importantes que nunca para equilibrar la enorme diferencia que existe entre el aumento de la po-

blación humana y la producción de alimentos, en un mundo donde el 50% de sus habitantes está subalimentado.

Si bien es cierto que prácticamente todas las especies vegetales de importancia económica han sido ya mejoradas en uno o más aspectos, las posibilidades de nuevos progresos son aún ilimitadas. Una intensificación de las investigaciones orientadas hacia la búsqueda de nuevas fuentes de macho-esterilidad genética y citoplasmática podría significar la utilización de la heterosis en diversas especies. Queda mucho por lograr en lo que se refiere a formar mejores variedades con mayor resistencia a enfermedades e insectos, al frío o calor, sequía o exceso de humedad, etc.

La variabilidad existente en las especies domesticadas no ha sido completamente explotada, y queda el recurso de intensificar la creación de variabilidad mediante la inducción de cambios en el material hereditario en especies de reproducción sexual, o en las células somáticas en aquellas especies capaces de ser propagadas asexualmente. Por otra parte, las investigaciones en citogenética han demostrado la factibilidad de sintetizar nuevas especies cuya potencialidad e importancia son difíciles de predecir.

