

La tercera revolución verde*

(The third green revolution)

García Olmedo, Francisco
Univ. Politécnica de Madrid
E.T.S. Ingenieros Agrónomos
28040 Madrid

BIBLID [1137-4411 (1999), 5; 249-255]

La tercera revolución verde está en sus inicios y se basa en la aplicación de la ingeniería genética a la mejora de las plantas cultivadas. Su fundamento científico es la genética molecular, que se desarrolló a partir del descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick en 1952. Se traza un panorama completo de la evolución y mejora de las plantas cultivadas desde el neolítico hasta hoy, y se sitúa esta revolución en un contexto general.

Palabras Clave: Ingeniería genética. Mejora vegetal. Plantas. Alimentos transgénicos.

Hirugarren iraultza berdea hastapenetan dago, eta landare kultibatuak hobetzeko ingeniari-tza genetikoaren era bilpena da haren oinarria. Genetika molekularra da horren funtsa zientifikoa, zeina Watson eta Crick-ek 1952an burutu ziren ADNren estrukturan aurikundearekin hasi baitzen garatzen. Lan honek landare kultibatuen garapen eta hobekuntzaren ikuspegi osoa ematen du, neolitos arotik gure egunotarainokoa, eta iraultza hori testuinguru orokorrean kokatzen du.

Giltz-Hitzak: Ingeniaritza genetikoak. Landare hobekuntza. Landareak. Elikagai transgenikoak.

La troisième révolution verte en est à ses débuts et se base sur l'application du génie génétique dans l'amélioration des plantes cultivées. Son fondement scientifique est la génétique moléculaire, qui se développa à partir de la découverte de la structure de l'ADN par Watson et Crick en 1952. On présente un panorama complet de l'évolution et de l'amélioration des plantes cultivées depuis le néolithique jusqu'à nos jours, et l'on situe cette révolution dans un contexte général.

Mots Clés: Génie génétique. Amélioration végétale. Plantes. Aliments transgéniques.

* Extractos del libro del mismo título, aparecido en 1998 en la colección *Temas de Debate*, Editorial Debate.

*Grande o pequeña, ácida o anodina, dulce o amarga,
blanda y harinosa, o crujiente, o dura, o jugosa,
temprana o tardía, aromática o sin fragancia...
¿Cómo fue aquella manzana?*

Italo Altroío

Sustrato y producto

Las cosechas actuales constituyen uno de los mayores logros del ingenio humano y, en igual medida, se puede decir que las plantas cultivadas han inventado al hombre contemporáneo. Las especies vegetales domesticadas dependen estrictamente del hombre para su supervivencia y, de forma simétrica, sólo una minúscula fracción de la humanidad actual sobreviviría sin ellas. Aportan directamente hasta el 90% de las calorías y el 80% de las proteínas de nuestra dieta. Además, nuestros alimentos de origen animal también derivan, en última instancia, de pastos y piensos vegetales.

.....

Tres revoluciones

El proceso que vamos a analizar ha sido continuo, pero ha pasado por momentos de cambios rápido y profundo. Se han producido episodios revolucionarios. Tres revoluciones han ocurrido a lo largo de la ya larga historia de la manipulación genética de las plantas por el hombre. La primera y más radical fue la que tuvo lugar en el neolítico; consistió en la domesticación inicial de las principales especies vegetales que cultivamos en nuestros días. Se ha objetado que este proceso fue demasiado lento como para poder considerarlo una revolución, pero no debe olvidarse que un año de entonces equivaldría a un segundo de ahora.

La segunda revolución, que culminó en los años 70, supuso la aplicación plena a la mejora vegetal de los conocimientos de la genética clásica desarrollados a partir de los descubrimientos de Mendel. Los incrementos conseguidos en los rendimientos de los cereales supusieron una profunda alteración de los sistemas agrícolas de decenas de países en desarrollo.

La tercera revolución verde, que da título a este libro, está en sus inicios y se deriva de la aplicación del conjunto de tecnologías que se conoce como ingeniería genética a la mejora de las plantas cultivadas. Su base científica es la genética molecular, que se desarrolló a partir del descubrimiento de la estructura del ADN por Watson y Crick en 1952. He querido trazar en este libro un panorama completo de la evolución y mejora de las plantas cultivadas con el fin de situar esta última revolución en el contexto apropiado.

.....

El hombre emula a la naturaleza

Por seguir con el símil futbolístico: El mejorador de plantas es como un seleccionador nacional que pudiera probar en el campo un elevado número de los equipos posibles y se quedan con el que marcara más goles en distintos climas y situaciones, descartando despiadadamente a todos los demás. El ingeniero genético, en cambio, se parece más al entrenador de un equipo de elite, que cada domingo hace su selección para un puesto dado entre muy pocas opciones, pero que puede ir al extranjero (a la bacteria o al elefante) a buscar

algunos jugadores excepcionales. En efecto, la tecnología genética moderna permite extraer el material genético (ADN) de cualquier ser vivo, alterarlo *in vitro*, y volverlo a integrar en el mismo organismo de partida o en otro distinto.

.....

Un conocimiento de la naturaleza

En resumen, el conjunto de los recolectores llegó a alcanzar un conocimiento botánico notable y a desarrollar todos los elementos tecnológicos básicos que componen la práctica agrícola, pero les faltó llegar a integrar estos elementos en un proceso único y coherente. Podría decirse que les faltó el elemento vegetal apropiado en el que encarnar dicha integración. La aplicación de las técnicas de cultivo a la especie silvestre y la invención de un uso para ella hubieron de preceder siempre a su domesticación. Esta domesticación fue el eslabón que finalmente permitió concatenar los distintos componentes para crear una nueva tecnología -la agricultura- que habría de introducir uno de los cambios más radicales que ha sufrido la especie humana. Como veremos, las razones de este cambio constituyen un misterio para el que carecemos de una explicación demostrada.

.....

Ambitos genéticos

Durante más de cien siglos el hombre practicó el arte de la genética sin saberlo. Como veremos, incluso Mendel descubrió los secretos fundamentales de este arte sin llegar a conocer su nombre definitivo. Cien siglos son un suspiro en la historia evolutiva de una especie, pero los cambios introducidos por la voluntad del hombre en las especies cultivadas han sido enormes, aunque no hayan llegado a producir el aislamiento reproductivo entre estas especies y sus parientes más próximos.

.....

Nuevos alimentos

Los europeos no siempre comimos tan bien como lo hacemos en la actualidad. Si pensamos en los que se consideran platos típicos españoles, tales como la paella, el gazpacho o la tortilla de patatas, veremos que no son tan "nacionales" -ni nos ha nutrido tanto tiempo- como se pueda creer.

.....

La aventura celular de Barbara McClintock

Barbara quería ser invisible, un globo ocular transparente, en la expresión poética de Emerson, y casi lo consiguió. Entre los científicos contemporáneos, sólo el misticismo del matemático Ramanujan puede equipararse al de esta mujer. Como al parecer también le ocurrió a Mendel, siempre pretendió olvidar cualquier noción de género y establecer con sus semejantes, hombres y mujeres, unas relaciones intelectuales puras e intensas. La soledad fue para ella un paraíso elegido.

Nace en 1902 e inicia sus estudios en la Universidad de Cornell hacia 1919. En esta universidad se forma como investigadora en el Departamento de Genética, donde no es admitida de un modo oficial, ya que no está prevista la admisión de mujeres.

Son los momentos iniciales de los estudios genéticos sobre el maíz y encuentra un empleo como pinche de laboratorio de un profesor que lleva dos años intentando teñir los

cromosomas de esta planta. McClintock lo resuelve en tres días, impertinencia que motiva el que sea despedida del empleo. Sin embargo, esta corta aventura le hace encontrar el mundo en el que ha de vivir el resto de su larga vida, el núcleo de la célula, entre los cromosomas. Ha empezado la aventura celular de Barbara McClintock.

En las repetidas ocasiones en que logra ver de golpe lo que escapó a otros durante años, esta mujer pequeña, ágil y vivaz da a entender que todo consiste en descender por el tubo del microscopio, atravesar la pared y las membranas celulares e instalarse en el núcleo con los ojos bien abiertos.

.....

Los objetivos de la mejora moderna

Los objetivos de la mejora vegetal han sido siempre los mismos: aumentar el rendimiento y mejorar la calidad nutritiva y tecnológica de los productos agrícolas. Un análisis de la producción de las principales cosechas modernas muestra que hay todavía un margen amplio para mejorar sus rendimientos.

Las plantas convierten la energía solar en energía química que se utiliza para la síntesis de las moléculas que las integran y que, por tanto, componen nuestros alimentos y otros productos vegetales útiles. El rendimiento neto de este proceso de conversión depende de las características de la planta -de su genotipo- y de los condicionamientos a que esta sujeto su cultivo.

Si se comparan los rendimientos récord -para cada especie, el rendimiento de la mejor variedad, en el suelo más adecuado, el año más favorable- con los rendimientos medios obtenidos en la práctica agrícola, se comprueba la enorme diferencia entre unos y otros (Tabla 3). Los rendimientos medios representan menos del 22% de los rendimientos récord.

La diferencia es imputable sobre todo a los factores ambientales adversos, tales como competencia de las malas hierbas, suelos no óptimos y condiciones meteorológicas desfavorables, así como a los efectos de plagas y enfermedades causadas por insectos y microorganismos. Las compañías de seguros agrícolas conocen bien la importancia relativa de los distintos factores adversos por la magnitud económica de las compensaciones que deben pagar a los agricultores.

.....

Una bacteria que sueña con el premio Nobel

Pasé el verano de 1982 en el Laboratorio de Genética de la Universidad de Gante. Lo recuerdo bien porque fue la última vez que fui joven. Junto a una docena de investigadores, en la que se incluían desde un niño prodigio de la Universidad de Harvard hasta veteranos como yo, estaba tratando de aprender la técnica de introducir y expresar genes foráneos en plantas.

Mark Van Montagu y Jeff St. Schell, nuestros anfitriones, llevaban años tratando de desarrollarla. Sabían cómo introducir el ADN en una célula vegetal y cómo integrarlo en uno de sus cromosomas, pero no estaban seguros de haber conseguido que los genes introducidos se expresaran (dieran lugar a proteínas). Pronto lo conseguirían.

En realidad Mark y Jeff no habían descubierto el modo de transformar los vegetales sino que le habían robado el secreto a una bacteria, *Agrobacterium tumefaciens*, la verdadera inventora de la ingeniería genética en plantas. No habían sido los únicos en tratar de descifrar ese secreto. De hecho, la norteamericana Mary-Dell Chilton les había planteado una dura

competencia y la empresa Monsanto también había apostado fuerte por conseguir transformar las plantas. Se había dado la explosión inicial que desencadenaría la tercera revolución verde.

La tarea de espionaje no les estaba siendo fácil. Les ayudaban varias decenas de jóvenes investigadores, llegados del Norte, del Sur, del Este y del Oeste, que se distribuían por un dédalo de pasillos medio obstruidos por extraños aparatos. En unos cubículos se oía música salsa, en otros a Bach e incluso de uno salía una misteriosa cadencia china. Se trabajaba de noche y de día.

Lo que se sabía desde tiempo atrás era que la bacteria inducía tumores en el tallo de muchas plantas y se suponía que lo conseguía por influencia externa de alguna sustancia que ella misma fabricaba. Mark y Jeff eran contrarios a esa creencia general y sospechaban que la bacteria producía cambios genéticos en las células vegetales a partir de las cuales se formaba el tumor.

Primero lograron demostrar que la bacteria introducía un trozo de su propio ADN, luego establecieron que este ADN se integraba y, más tarde, que los genes incluidos en el ADN se expresaban en la planta. Habían descubierto el secreto de la bacteria y, una vez resuelto el problema, inventaron cómo convencer a ésta para que introdujera en la célula vegetal cualquier gen que a ellos les interesara.

Muchos nos hemos adherido a una propuesta para que concedan el premio Nobel a Mark y a Jeff, yo estoy entre los que opinan que deberían compartirlo con la bacteria. Estoy seguro que se lo merece y que le gustaría mucho conocer al rey de Suecia.

.....

Genes como balas

“El día que la mataron Rosita estuvo de suerte; de tres tiros que le dieron, no más uno era de muerte”. En comparación, la célula vegetal es menos delicada que la Rosita de la conocida canción, ya que resiste hasta trece impactos antes de morir acribillada. La idea de introducir genes a balazos sólo pudo ocurrírsele a un descendiente de los míticos *cowboys*: la pistola de genes es un invento tan americano como los perritos calientes.

De ahí que cuando T.M. Klein y sus colaboradores de la Universidad de Cornell publicaron en 1987 su peculiar método de disparar, no parece que hubiera otros laboratorios explorando algo similar. Ahora, sin embargo, todo sastre genético que se precie dispone de una de estas armas.

.....

El gen de la luciferasa y otros genes chivatos

¿Quién me iba a decir que un día llegaría a ver plantas como luciérnagas en la noche? ¿Cómo iba yo a saber que esa luz nos iba ayudar a descifrar la primavera? Todavía no he logrado salir de mi asombro. Esta maravilla nos ayuda a estudiar la informática biológica, aunque no permita iluminar las carreteras mediante la plantación de chopos luminosos.

.....

Señas de identidad

Hemos visto cómo el hombre ha ido imitando a la naturaleza en su ya largo diálogo genético con las plantas. No se rompe con dicha tradición en la nueva fase de este diálogo.

go. En la etapa anterior, un mejorador como Borlaug forzaba la generación de diversidad y luego descartaba la mayor parte de las variantes generadas, seleccionando sólo una mínima fracción de ellas. Ahora, en la era de la ingeniería genética, se trata de aumentar la diversidad en la planta de interés mediante la adición o alteración de unos pocos genes elegidos *a priori*, por lo que se hace innecesaria, o se reduce en extremo, la selección posterior. En general se parte de una variedad productiva, obtenida por los métodos tradicionales, y se le introducen los genes que se desee. Como señalé en el capítulo 1, los métodos del mejorador clásico y del ingeniero genético no son mutuamente excluyentes, sino que se complementan.

.....

Resistencia a enfermedades y a plagas

Como es notorio, el uso de productos fitosanitarios para combatir enfermedades de las plantas causadas por bacterias, hongos o nematodos es un capítulo de gastos importante en la producción agrícola -en términos de costes de los productos y de la mano de obra. Pero es que además plantea serios problemas de contaminación del medio ambiente y, de hecho, algunos de estos productos son tan tóxicos que ha sido necesario prohibirlos.

Para paliar en parte este problema, los métodos de la mejora vegetal clásica han permitido manipular varios genes de resistencia a ciertas enfermedades que han hecho posible, en algunos casos, reducir las cantidades utilizadas de productos fitosanitarios. Sin embargo, las limitaciones de esta mejora estriban en el escaso repertorio de genes de resistencia disponibles y en la lentitud de las manipulaciones necesarias para responder a los retos planteados por nuevas cepas patógenas.

Respecto a este problema, los estudios moleculares están esclareciendo los mecanismos de defensa de las plantas, han permitido caracterizar los genes de defensa que los mejoradores venían manipulando empíricamente. Ello ha permitido diseñar nuevas estrategias de lucha que implican una reducción considerable en el uso de productos fitosanitarios y una mayor agilidad para responder a nuevos retos.

.....

La historia imaginada de una corbata

En 1985 fui invitado a dar una conferencia en la ciudad de Gante. La audiencia se componían de unas decenas de jóvenes investigadores de una pequeña empresa, denominada Plant Genetic Systems, que llevaba poco más de dos años funcionando. Mi anfitrión era Jan Leemans, un científico belga de veintinueve años. Al terminar el coloquio apareció en la sala Walter de Logi, director y cofundador de la compañía, ordenó servir unas copas de champán y anunció el nombramiento de Jan como Director de Investigación y Desarrollo. Al felicitarle, le anunció que la promoción significaba que, en adelante, iba a necesitar corbata para algunas ocasiones especiales; le regalé la que yo llevaba puesta.

Supongo que sigue siendo la única que tiene -ya que no le gusta dicha prenda- y me imagino que la debió usar cuando hace unos meses se convirtió en el máximo responsable de la biotecnología en el consejo directivo de AgrEvo, segunda empresa mundial en ventas del sector agroquímico, perteneciente a la esfera de la multinacional alemana Hoetsch. Plant Genetic Systems, que sigue teniendo menos de dos centenares de empleados, ha sido vendida a AgrEvo por más de 700 millones de dólares, una cifra superior al valor de mercado de la línea aérea Sabena.

Los que aportaron el capital de riesgo que mantuvo a la empresa sin obtener beneficios durante catorce años, incluidos el gobierno belga con el 24%, y los empleados, que durante ese tiempo recibieron hasta el 10% de las acciones de la compañía como complemento a sus menguados salarios, tienen razones sobradas para congratularse.

La empresa sigue teniendo la misma sede que hace una década, dos plantas de un ala de la Facultad de Ingeniería, cedidas por la Universidad de Gante. De este edificio del siglo XIX, sólido y destartado, ha salido buena parte de la tecnología que configurará la agricultura del siglo XXI. Cuando hace once años subí por primera vez sus amplias escalinatas de piedra, con barandales de hierro forjado, y franquéé la enorme puerta de madera noble que daba acceso a los recién estrenados y relucientes laboratorios de Plant Genetic Systems, no tuve la impresión de acceder a un ámbito industrial.

Las instalaciones, el ambiente de comunicación libre y la variedad de temas de investigación -en apariencia de índole básica- que se estaban abordando podían constituir las señas de identidad de cualquier laboratorio universitario avanzado. La minuciosa discusión de los 26 proyectos en curso, a lo largo de muchas horas, no hizo cambiar mi primera impresión.

Dos años más tarde,....

.....

El debate en su escenario

El libro que me propuse escribir puede darse por concluido en el capítulo anterior. En este epílogo quiero dar cabida a algunas de las opiniones que se han expresado sobre los aspectos más controvertidos del tema tratado en él. El debate consecuencias sociales de los recientes avances de la Biología hace furor. No pasa día sin que se celebre una mesa redonda, un seminario o un coloquio sobre este tema. Los términos en que se producen estos enfrentamientos, que no diálogos, suelen repetirse; los escenarios varían.

Yo quiero ahora llevar la imaginación del lector hasta la Universidad de Padua, hasta una sala del *Palazzo del Bo*, donde me toca moderar uno de estos eventos. El lugar no puede ser más apropiado. Uno cree percibir el espíritu de Galileo, que enseñó en estas aulas antes de que se topara con la Iglesia, y las sombras de Pico della Mirandola, de Copérnico o de Tasso, que estudiaron en ellas. Se puede visitar la primera sala de disección -el primer "teatro" de anatomía- donde Vesalio rompió el veto a la exploración anatómica del cuerpo humano, o pasear por el jardín botánico donde se conserva la palmera que sugirió a Goethe sus primeras preguntas sobre el desarrollo de las plantas, preguntas que siguen vigentes.

El coloquio, que debe centrarse en la biotecnología vegetal y que sigue a las cinco charlas de las que más tarde nacería este libro, forma parte de un extenso ciclo que se viene desarrollando bajo el lema "La alimentación, un derecho de los pueblos". La reconstrucción de este acontecimiento que les ofrezco se basa en mis notas apresuradas. Por esta razón, y porque no siempre logré identificar a quien hablaba, he asignado nombres ficticios a los participantes. Al fin y al cabo, un coloquio no es muy distinto de un baile de máscaras, y la proximidad de Venecia justifica esta y otras licencias.