



Anomalías en los comienzos de la transgénesis vegetal: intereses e interpretaciones en torno a las primeras plantas transgénicas

Anomalies in the early stages of plant transgenesis: interests and interpretations surrounding the first transgenic plants

Pablo A. Pellegrini

Pesquisador do Conselho Nacional de Investigações Científicas y Técnicas e do Instituto de Estudos sobre la Ciencia y la Tecnología/Universidad Nacional de Quilmes.
Roque Sáenz Peña, 352
B1876BXD – Bernal – Provincia de Buenos Aires – Argentina
ppellegrini@unq.edu.ar

Recebido para publicação em outubro de 2011.
Aprovado para publicação em fevereiro de 2012.

<http://dx.doi.org/10.1590/S0104-59702013000500002>

PELLEGRINI, Pablo A. Anomalías en los comienzos de la transgénesis vegetal: intereses e interpretaciones en torno a las primeras plantas transgénicas. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, Rio de Janeiro, v.20, n.4, out.-dez. 2013, p.1453-1471.

Resumen

Se presentan los orígenes de la transgénesis vegetal, analizando los experimentos que llevaron a la obtención de las primeras plantas transgénicas. Aquí se entrecruzan actores, prácticas e intereses que resultan emblemáticos de la biotecnología. Se trata, además, de un caso donde se pone en juego el consenso sobre el sentido de experimentos fundamentales. Estos sucesos permiten ilustrar parte de los conflictos en los que se involucran los organismos genéticamente modificados, pues en torno a estos primeros experimentos los científicos articularán representaciones distintas sobre la transgénesis vegetal, valorando de un modo distinto las anomalías que presentaban los primeros experimentos. De este modo, se analizan los intereses e interpretaciones en torno a los primeros experimentos con plantas transgénicas.

Palabras clave: organismo genéticamente modificado; anomalías; plantas transgénicas; experimentos; silenciamiento.

Abstract

The origins of plant transgenesis are discussed and the experiments that led to the first transgenic plants are analyzed. This process involved a series of actors, practices and interests specific to biotechnology. Consensus about the meaning of fundamental experiments was also at issue here. These events illustrate some of the conflicts related to genetically modified organisms, since scientists had different responses to plant transgenesis at the time of the first experiments, and opinions of the anomalies in those experiments varied. Thus, this article analyzes the interests and interpretations surrounding the first experiments involving transgenic plants.

Keywords: genetically modified organism; anomalies; transgenic plants; experiments; silencing.

Ya desde la década de 1930 la genética comenzó a ganar espacios en detrimento de otras disciplinas biológicas – como la embriología y la fisiología –, desplazando el objeto de interés de los investigadores hacia el estudio de los genes y sus efectos (Fox Keller, 2002; Regal, 1996). La investigación genética cobró un notable impulso a través de una serie de acontecimientos, donde se destaca la descripción que en 1953 Watson y Crick hicieron del ADN como estructura helicoidal. En lo que se refiere estrictamente al inicio de la biotecnología moderna, el momento decisivo se dio entre 1972 y 1974, cuando en una serie de experimentos desarrollados en universidades estadounidenses se logró cortar un fragmento de ADN de una especie e integrarlo en la secuencia genética de otra.

De este modo, hacia 1973 se había obtenido el primer organismo genéticamente modificado de la historia: una bacteria (Wright, 1986). El primer ratón transgénico se logró en 1980 al microinyectar la secuencia de ADN manipulada en un embrión e introduciendo éste en un ratón hembra (Gordon et al., 1980; Hanahan, Wagner, Palmiter, 2007). Las plantas, sin embargo, presentaban otro tipo de dificultades.

Uno de los problemas fundamentales a resolver, si se quería obtener una planta transgénica, era lograr introducir el ADN en la célula vegetal. Esto no era difícil de conseguir cuando se trataba de hacerlo en una bacteria, pues bastaba con agregar algunas sales al tubo de ensayo y producir un shock térmico para que la bacteria abriera los poros de su membrana y el ADN ingresara. Pero la estructura vegetal es completamente distinta. La célula es la unidad estructural primordial de la biología y hay, básicamente, dos tipos de células: procariotas y eucariotas. Todas las bacterias son procariotas. Se trata de una estructura celular mucho más simple y antigua que la eucariota. La célula procariota tiene una envoltura denominada pared celular, dentro de la cual hay una membrana que contiene un único compartimiento donde se encuentran ADN, ARN, proteínas y otras pequeñas moléculas. Eso es todo. Las células eucariotas, en cambio, son mucho más grandes y complejas. Tienen estructuras intracelulares, como el núcleo, y diversas organelas especializadas fuera del mismo. Además, las células vegetales en particular, están recubiertas por una rígida capa, denominada pared celular vegetal (Alberts et al., 1996).

Para obtener una planta transgénica era necesario que la construcción genética a introducir atravesara la pared celular, la membrana plasmática y la membrana nuclear; todo eso, por supuesto, sin destruir la célula vegetal, y regenerando luego una planta entera. Llevar un gen al núcleo de una célula vegetal era mucho más complicado que a otros tipos celulares. La solución fue utilizar un sistema biológico que infecte a las células de las plantas, y fue una herramienta que se desarrolló una vez que existía el interés en obtener una planta transgénica.

En 1907, se encontró que los tumores que desarrollaban algunas plantas, conocidos como corona de gallo (*crown gall*), estaban originados por la presencia de una bacteria (Smith, Townsend, 1907). Los investigadores que describieron este fenómeno bautizaron al agente oncogénico como *Bacterium tumefaciens* (bacteria que hace tumores), que luego sería popularizado como *Agrobacterium tumefaciens*. Se consideró que la bacteria debía estar transfiriéndole algo a la planta que le causaba el tumor, alguna especie de principio inductor de tumores, pero no estaba claro de qué se trataba (Braun, 1958).

En la Universidad de Gent, en Bélgica, el grupo de Jeff Schell y Van Montagu se dedicaba a estudiar las interacciones entre las plantas y las bacterias del suelo. En 1974, describieron

que un plásmido de *Agrobacterium*, al que se llamó plásmido Ti, era el responsable de causar el tumor en las plantas (Zaenen et al., 1974; Van Montagu, 2011).¹ Luego buscaron diseñar métodos para modificar *Agrobacterium* y convertirla así en un vehículo para la transformación genética de plantas.

Quien dominara *Agrobacterium*, dominaría la transgénesis vegetal. De modo que se desplegó una suerte de competencia por ver quién lograba manipular el plásmido Ti de *Agrobacterium* (Vasil, 2008). Por entonces, Mary-Dell Chilton, investigadora de la Universidad de Washington, se dispuso a encontrar cuáles eran los genes del plásmido que causaban el tumor; cuál era, en definitiva, el principio inductor de tumor de *Agrobacterium* (Chilton, 2001).

Chilton puso a todo su laboratorio a trabajar en una misma misión: encontrar las regiones del plásmido involucradas en la inducción del tumor. Encontró que una secuencia específica del plásmido, a la que se llamó T-ADN, estaba presente en los tumores (Drummond et al., 1977). El funcionamiento de *Agrobacterium tumefaciens* presentaba una curiosa novedad: una bacteria le transfiere su ADN a las células de una planta, que incorporan ese ADN en su propio genoma y desarrollan un tumor que produce nutrientes para la bacteria. Es decir, el resultado de la interacción entre *Agrobacterium* y la planta es una planta que tiene células naturalmente recombinantes. *Agrobacterium* pasó a ser la herramienta por excelencia de la emergente biotecnología vegetal. Rediseñando el T-ADN (extrayendo los genes oncogénicos e insertando genes de interés), se lo podría usar como un vector para llegar a desarrollar plantas transgénicas (De Framond, Barton, Chilton, 1983).

La primera planta transgénica

Habiendo definido cuál sería el vector biológico para trasladar el ADN de interés a la planta, el trabajo consistía en extraer los genes oncogénicos del T-ADN (pues de lo contrario no se obtendría una planta, sino una masa tumoral) e insertarle los genes de otra especie; luego habría que introducir el T-ADN modificado en el plásmido Ti, el cual a su vez se introduciría en el *Agrobacterium tumefaciens* que finalmente se pondría en contacto con la célula vegetal. Chilton llevó a cabo esto en un experimento considerado clave en el desarrollo de la biotecnología vegetal: insertó genes de bacteria y de levadura en el plásmido Ti, obteniendo una planta que contenía esas secuencias nuevas en su genoma (Barton et al., 1983). Esta planta transgénica fue la portada de la prestigiosa revista científica *Cell* de abril de 1983.

La factibilidad de obtener una planta transgénica radicaba en la superación de dos problemas que se presentaban a principios de 1980 y que el experimento de Chilton lograba solucionar. Por un lado, obtener una planta entera luego de haberla infectado con *Agrobacterium* y, por otro, que esa planta expresara los genes foráneos que se le habían introducido.

Obtener una planta entera luego de haberla expuesto a *Agrobacterium* no era simple, precisamente porque *Agrobacterium* provocaba en la planta una masa tumoral. El plásmido Ti de *Agrobacterium* tiene genes que codifican para proteínas, que le permiten introducir su T-ADN en el núcleo de la célula vegetal; tiene también genes que expresan hormonas, las cuales provocan el crecimiento tumoral del tejido vegetal; y tiene genes que codifican para metabolitos que sirven como nutrientes para *Agrobacterium*. Funciona así como un colonizador biológico: pone a las células vegetales a trabajar para satisfacer las necesidades de *Agrobacterium*.

De modo que usar el plásmido Ti implicaba que las células vegetales se transformaran en un tejido vegetal tumoral, no en una planta entera. En el experimento que estoy analizando, Chilton y su grupo introducen genes de levadura y de bacteria dentro del T-ADN, irrumpiendo en las secuencias donde estarían genes oncogénicos. Al poder regenerar una planta entera, el problema quedaba solucionado.

Por otro lado, lograr que el gen foráneo se integre con éxito en las células vegetales era también un desafío. Unos años antes, Boyer y Cohen habían demostrado que podían expresar genes de distintas especies en bacterias. Pero las plantas disponen de sistemas de regulación y expresión de la información genética mucho más complejos que las bacterias. Chilton insertó un gen de levadura y uno de bacteria en el plásmido Ti que se introdujo en *Agrobacterium tumefaciens*. Esta bacteria con el plásmido recombinante se puso dentro de un cultivo *in vitro* con tejido de células de tabaco. De este tejido se regeneró la planta y de esta planta, por auto-polinización, se obtuvo otra. Esta última planta de tabaco tenía, en su genoma, las secuencias de los genes de levadura y de bacteria. Publicado en 1983, este experimento demostraba que el ADN foráneo se había introducido con éxito y se había mantenido estable dentro del genoma de la planta. También, que esos genes transcribían su correspondiente ARN dentro de las plantas. Pero en ese experimento no se encontró presencia de las respectivas proteínas – de levadura y bacteria – en los tejidos de la planta. Los autores del experimento manifiestan que “la aparente falta de expresión es desilusionante pero no sorprendente”, pues admiten que “los requerimientos precisos para la expresión de secuencias de ADN en varios estadios de desarrollo en las plantas no se conocen” (Barton et al., 1983, p.1041). El artículo finaliza diciendo que estas dificultades serán subsanadas si se continúa con el mismo tipo de experimentos, es decir, a medida que se avance con la transgénesis vegetal.²

Industria y biotecnología en los inicios de la transgénesis

La planta transgénica resultaba un anhelo por las oportunidades que ofrecía. Si los primeros organismos genéticamente modificados habían sido bacterias, su interés era más que nada como un primer modelo, ya que su explotación comercial era bastante limitada. Pero las plantas transgénicas tenían por delante al mundo de la agricultura y, con ello, otra escala de producción se atisbaba. El interés comercial por la biotecnología, entre fines de la década de 1970 y principios de la siguiente, había explotado. Ser un experto en ingeniería genética durante esos años – y sobre todo en EEUU – equivalía a recibir jugosos ingresos del sector privado.³ Todo científico que manejaba técnicas de ADN recombinante tenía vínculos con empresas (Wright, 1994, p.107). Con el ADN recombinante se abrió la posibilidad de un nuevo mercado mundial y, con ello, estalló una lluvia de contratos, dinero y ofertas para posicionarse en el desarrollo de productos biotecnológicos. La explosión de recursos ocurrió fundamentalmente en EEUU – y en menor medida en Inglaterra – que era donde se había concentrado la investigación en ADN recombinante y donde había recursos disponibles para ser volcados a este nuevo campo.

En 1974, la Universidad de Stanford inició una solicitud de patentamiento por la metodología del ADN recombinante desarrollada por Boyer y Cohen. En 1980, la patente fue concedida. Todo aquel que quisiera utilizar ADN recombinante con fines comerciales, debía

pagar royalties. La patente incluía desde los plásmidos hasta la replicación y expresión de ADN foráneo en microorganismos. En los primeros cuatro meses, desde que la Universidad de Stanford empezó a hacer uso de la patente, 72 compañías adquirieron licencias para explotar la tecnología de Boyer y Cohen. La patente expiró en 1997. Durante todos esos años, la Universidad de Stanford encontró en el ADN recombinante una auténtica mina de oro: las ganancias por la explotación de la patente se sitúan en el orden de los 250 millones de dólares (Smith Hughes, 2001).

Los científicos que habían desarrollado las técnicas de corte y ligazón de ADN, los pioneros en ADN recombinante, se habían convertido también en exitosos empresarios. Una de las primeras empresas que emergió en el área fue Cetus, en 1971. Pronto, los directivos de la firma incorporaron a Joshua Lederberg a sus filas y, en 1975, reclutaron a Stanley Cohen. Paul Berg contribuyó a crear la compañía DNAX.⁴ Biogen contó con varios científicos destacados entre sus directivos, como Walter Gilbert. Sydney Brenner – uno de los máximos referentes en investigación en biología molecular en Inglaterra – pasó a ser miembro del directorio de la flamante compañía británica Celltech. Por su parte, Herbert Boyer fundó – junto con Robert Swanson, un inversor capitalista – la empresa Genentech en 1976. Esta compañía se creó con apenas mil dólares; cuatro años más tarde, la empresa valía más de quinientos millones de dólares.

La investigación con ADN recombinante también se disparó. En 1975, la National Institutes of Health (NIH) financiaba apenas dos proyectos vinculados al tema, a los que destinaba veinte mil dólares. En 1982, estaba financiando 1.588 proyectos de investigación, por un total de 185 millones de dólares. De este modo, junto con el ADN recombinante, un nuevo mercado empezaba a desarrollarse y lo hacía a pasos agigantados.

El primer producto biotecnológico que se lanzó al mercado fue la insulina recombinante, producida por Genentech, en 1978, utilizando una bacteria genéticamente modificada. Para entonces, el ADN recombinante había conquistado a las bacterias. Las ganancias de esas primeras experiencias biotecnológicas, sin embargo, no residían tanto en las proteínas recombinantes en sí mismas, sino en las expectativas que generaban sobre nuevos mercados para la biotecnología. De hecho, por ejemplo, la insulina humana recombinante resultaba más costosa de obtener que la que se venía produciendo a partir de las glándulas de los cerdos. Si las nuevas empresas biotecnológicas eran exitosas, se debía a los contratos millonarios que obtenían por parte de las grandes compañías multinacionales que se habían consolidado en el área de la química y la farmacéutica y comenzaban a invertir ahora en un terreno desconocido para ellas. El repentino éxito comercial de la biotecnología se debía, por tanto, a las expectativas que despertaba.

Las grandes transnacionales no tenían la menor experiencia en estas nuevas cuestiones de la ingeniería genética. Entonces, generaban contratos con las flamantes empresas que creaban científicos y emprendedores con el fin de no quedar al margen del potencial nuevo mercado que generaría la biotecnología y de ir alcanzando un conocimiento mínimo en estos temas. A tal efecto, también realizaron convenios con las universidades, que eran, al fin y al cabo, donde se había desarrollado el conocimiento en torno al ADN recombinante. Es así que durante estos años, transnacionales como DuPont, Monsanto, Lilly, Merck o Upjohn hicieron fluir millones y millones de dólares hacia los laboratorios de ingeniería genética de

las universidades y hacia las nuevas empresas de biotecnología que se habían creado. Poco a poco, estas grandes compañías de la industria química, petrolera o farmacéutica fueron incorporando conocimientos sobre ADN recombinante. Hacia 1982, aproximadamente, el escenario comenzó a cambiar. Las transnacionales ya podían manejar las técnicas de ADN recombinante por sí mismas y no necesitaban seguir transfiriendo recursos hacia otros sitios. DuPont anunció la apertura de su propio departamento dedicado a la investigación en agricultura con una cifra récord de 85 millones de dólares (Wright, 1994). A partir de entonces, unas pocas empresas comenzaron a afianzarse como los actores dominantes en el mercado de la biotecnología, con lo cual disminuyeron los nuevos emprendimientos que habían caracterizado la dinámica del sector apenas unos años atrás. La explosión de recursos duró poco tiempo, pero fue muy intensa.

Durante unos pocos años, los laboratorios de ingeniería genética de las universidades norteamericanas habían nadado en dólares y los científicos que habían hecho emprendimientos en biotecnología se habían convertido en millonarios de la noche a la mañana. Pero eso ya no volvería a ocurrir, al menos no en esa área de la biotecnología: el mercado se había abierto y los actores que iban a participar ya se habían definido. En esta nueva fase, la carrera en biotecnología comenzaba a hacerse puertas adentro de las grandes transnacionales.

¿Por qué las empresas estaban tan interesadas en hacer transgénesis vegetal? La pregunta no es trivial, pues durante buena parte del siglo XX, las tareas de innovación en mejoramiento vegetal recayeron sobre el sector público. En particular, en los EEUU, la investigación agrícola reposaba en buena medida en los esfuerzos del sector público y esto se había acentuado después de la Segunda Guerra Mundial. Las empresas privadas innovaban sólo en nichos específicos, como lo fue, en particular, el desarrollo de maíz híbrido.⁵ Luego, en la década de 1960, se generó un marco legal que dio lugar a una fuerte protección legal de las nuevas variedades vegetales, lo cual estimuló el desarrollo del mejoramiento vegetal por parte del sector privado (Murphy, 2007).

Es en estos años de explosión de las oportunidades en ADN recombinante (entre fines de los años 1970 y comienzos de los años 1980) que se desata el interés por desarrollar plantas genéticamente modificadas. Mary-Dell Chilton fue la primera en obtener una planta transgénica, pero en el podio de la ingeniería genética vegetal también había otros dos grupos. A comienzos de 1983, en un simposio sobre ingeniería genética de plantas, Schell y Van Montagu (de la Universidad de Gent), Rob Horsch y Fraley (de Monsanto) y Chilton (de Washington University) anunciaron resultados similares: los tres grupos habían logrado expresar con éxito genes de antibióticos en células vegetales (Newton, 2010; Fraley et al., 1983; Herrera-Estrella et al., 1983; Chilton, 2001). Los tres grupos se habían propuesto encontrar un método para transferir genes a plantas, y lo habían logrado.⁶

Fraley y Horsch continuaron trabajando para Monsanto, llegando ambos a ser vicepresidentes de la compañía. Schell y Van Montagu crearon su propia empresa en la localidad de Gent, en Bélgica, llamada Plant Genetic Systems Inc., que años más tarde sería absorbida por Bayer CropScience. Por su parte, Mary-Dell Chilton sería rápidamente reclutada por Ciba-Geigy, empresa que luego devendría en Syngenta, una de las mayores compañías de biotecnología vegetal del mundo.

Todos los científicos que han hecho aportes en el área del ADN recombinante desde los años 1970 han pasado a ocupar cargos importantes en empresas de biotecnología. Contribuir al conocimiento en el incipiente campo de la biotecnología era también asegurarse un lugar en su naciente industria.

Desde luego, no es ninguna novedad que un nuevo campo científico se articule con una incipiente industria asociada. Más bien sería sorprendente encontrar que tales vínculos no existieran. Un caso ejemplar es la industria química en la segunda mitad del siglo XIX en Alemania, donde se concentraron científicos notables, en una época en que se descubrieron muchos compuestos químicos y donde surgieron compañías como Bayer, Basf y Agfa (Aftalion, 2001). Pero la comparación sería demasiado general, pues lógicamente se trata de contextos muy distintos y no sería razonable comparar la masa de científicos y de capital que circulaban en la industria química en el siglo XIX con la de la biotecnológica de fines del siglo XX.

En todo caso, entre fines de la década de 1970 y principios de la siguiente, los conocimientos sobre el ADN recombinante concitaron un enorme interés del sector industrial, materializándose eso en nuevas empresas biotecnológicas, contratos con las mismas e inversiones masivas. Había, claro, una gran masa de científicos y un considerable capital acumulado en empresas provenientes de la industria química y farmacéutica, de modo que el mercado de productos biotecnológicos se expandió vertiginosamente. Luego, unas pocas empresas comenzaron a posicionarse como los actores dominantes y, entonces, la fiebre de contratos, inversiones y nuevas compañías se aplacó. Así las cosas, los vínculos entre el conocimiento y la producción hacen a la biotecnología, pero nunca esos vínculos fueron tan fuertes y extensos como en esta etapa inicial.

El silencio interior de las plantas

El experimento de Chilton abría una nueva época, la de la biotecnología vegetal. ¿Era posible, con los resultados de su experimento, interpretar que se estaba frente a la primera planta transgénica? Desde luego que sí, pero también era posible interpretar cosas muy distintas. El hecho de que los genes foráneos no se expresaran en proteínas podía entenderse como una manifestación del complejo sistema de regulación y expresión de los genes que tienen las plantas y, en consecuencia, podía deducirse que era muy difícil llegar a obtener una planta transgénica que funcionara como se quería. Esto no constituye una interpretación anacrónica: desde 1941 se sabía que cada gen especifica la estructura de una proteína, y desde los años 1950 estaba claro que la secuencia consiste en que el ADN se transcribe a ARN y luego a proteínas.⁷ En la planta de Chilton había ADN y ARN de los transgenes, pero no estaban sus proteínas. Esto podía entenderse como una muestra del problema que se abría ante la transgénesis o como un avance en su solución. El hecho de que el campo científico hubiera adoptado esta última posición, no era algo obvio.

Así como la primera planta transgénica, obtenida por el laboratorio de Chilton en Washington, no lograba expresar la proteína recombinante, intentos parecidos de otros grupos de investigación presentaron dificultades similares. En muchos experimentos posteriores se obtuvo expresión de proteína recombinante pero en niveles muy variables. Resultaba frecuente que las plantas transgénicas presentaran muy poca cantidad de proteína recombinante,

mucho menos de lo esperado. En estos casos, simplemente se descartaban estas plantas transgénicas y se continuaba con las que presentaban niveles de expresión más aceptables (Matzke, Matzke, 1995). Hubo de pasar algún tiempo antes de que esta anomalía (la falta de expresión de proteínas de los transgenes introducidos en las plantas) se transformaran en un problema de investigación en sí mismo y luego en todo un campo de investigación. En realidad, esto ocurrió cuando aparecieron otros actores, con otros intereses, que fueron capaces de redefinir las dificultades de expresión en plantas transgénicas como un problema de investigación. Dos de estos nuevos actores fueron, sin embargo, discípulos de Chilton.

Marjori y Antonius Matzke se conocieron mientras realizaban sus respectivos post-doctorados en el laboratorio de Chilton, entre 1980 y 1982. De hecho, Antonius formó parte de la publicación en la revista *Cell* sobre la primera planta transgénica. Una vez que terminaron su estadía post-doctoral se fueron a Austria, donde establecieron su laboratorio y de ahí en más continuaron trabajando juntos. En Austria, sus investigaciones se diferenciaron de las de Chilton precisamente porque buscaron explorar las anomalías que presentaba la transgénesis vegetal, convencidos de que esas anomalías permitirían dilucidar cuestiones vinculadas con la genética en general. Antonius afirma que siempre estuvo interesado en utilizar la transgénesis vegetal para investigación básica, es decir, no le interesaba obtener una planta transgénica como producto final, sino que buscaba descubrir cuestiones vinculadas al funcionamiento de los genes en las plantas (Matzke, 2010). Una vez en Austria, entonces, los Matzke pusieron sus esfuerzos en estudiar los problemas de expresión de los transgenes en plantas. Mostraron que el T-ADN, con el que estaban experimentando, sufría una pequeña modificación química dentro de la planta y que eso podía ser la explicación de por qué el gen no lograba expresarse (Matzke et al., 1989).

Poco después, otro grupo de investigación confirmó los resultados de Matzke con un experimento parecido, aunque con una salvedad: introdujeron un gen en una planta que poseía ya un gen de esa familia. El objetivo era sobreexpresar esa proteína. Pero el resultado fue inverso: no sólo no se expresó el gen introducido, sino que tampoco se expresó el gen que la planta ya poseía. Esto se denominó co-supresión (Napoli, Lemieux, Jorgensen, 1990).

Un investigador que también habría de destacarse en el estudio de estos fenómenos es Hervé Vaucheret. Su investigación de doctorado, en un laboratorio de biología celular del Institut National de la Recherche Agronomique (Inra) en Francia, se orientaba claramente a la ciencia básica: caracterizar un gen – el de nitrato reductasa – propio de las plantas. En el marco de esa investigación usó algunos transgenes de nitrato reductasa, pero sin lograr que se expresaran. Una vez concluido su doctorado, en 1989, desarrolló su propia línea de investigación en base al estudio de esos fenómenos que había observado durante su tesis. Así, Vaucheret fue caracterizando diversas proteínas vegetales involucradas en la supresión de la expresión de genes. Describió el modo en que una planta puede silenciar sistémicamente a un gen, transmitiéndose pequeñas secuencias de ARN entre las células vegetales. Se especializó también en caracterizar un tipo de proteínas, las Argonauta, que intervienen en el silenciamiento génico post-transcripcional.

Pronto se hizo evidente que las plantas disponen de distintos mecanismos con los que terminan evitando la expresión de un transgén. Se adoptó un término general para agrupar a toda esta diversidad de mecanismos: silenciamiento génico. Por un lado, puede ocurrir

que se inhiba la transcripción de un gen, es decir, que el silenciamiento opere bloqueando el ADN. Este se llama silenciamiento génico transcripcional. Pero también puede ocurrir que el silenciamiento opere sobre el ARN, degradándolo (lo que se denomina silenciamiento génico post-transcripcional). Pequeñas secuencias de ARN juegan un rol importante al acoplarse con el ARN mensajero que luego será degradado. A su vez, se empezaron a identificar diversas proteínas involucradas en fenómenos de silenciamiento. Se consideró que las plantas usaban normalmente estos mecanismos para defenderse de la infección de virus.

Las investigaciones se multiplicaron. Las vías por las cuales las plantas pueden silenciar un gen son sumamente diversas. Distintas proteínas junto a otras moléculas intervienen en estos mecanismos. Se encontró luego que el silenciamiento génico no era exclusivo de las plantas: también en animales y en bacterias ocurre. Comenzaba a desplegarse una rama del conocimiento vinculada a los mecanismos que inhiben la expresión de los genes. Todo tuvo su origen en las dificultades que presentaba la transgénesis vegetal para expresar las proteínas recombinantes.

Mientras la transgénesis vegetal se desarrollaba rumbo a la producción de plantas genéticamente modificadas, una disciplina comenzaba a surgir precisamente sobre los problemas que los investigadores en transgénesis no se interesaban en explorar. De hecho, estos otros científicos, los que se dedicaron a estudiar el silenciamiento génico, observan la primera planta transgénica de un modo muy distinto. Para ellos, la planta de Chilton de 1983 no era una prueba de la factibilidad de las plantas transgénicas, sino que estaba evidenciando otra cosa: la importancia de los fenómenos supragenéticos que operan sobre los transgenes. La primera planta transgénica no sería, desde esta perspectiva, 'realmente' transgénica, pues no podía expresar los transgenes, ya que estarían operando mecanismos de silenciamiento de los genes.

El modo común de interpretar el experimento de Chilton de 1983 consideraba que las plantas transgénicas eran un hecho inminente, y que las pequeñas dificultades técnicas que aún presentaban serían superadas con más transgénesis. La planta de Chilton de 1983 era la prueba de la transgénesis vegetal. Pero había otra lectura que comenzaba a surgir. Para esa otra lectura, no es de la transgénesis de lo que hablaba esa planta, sino de su silencio interior.

Reinterpretando la transgénesis

En ningún momento el experimento de Chilton dejó de ser considerado como un experimento competente. La razón radica en que había un acuerdo respecto a qué tipo de experimentos podían funcionar y qué resultados podían esperarse. Esto es lo que, según Harry Collins (1995), define a un experimento como competente.⁸ En efecto, ya desde principios de la década de 1970 estaba claro que un gen de una especie podía insertarse en el genoma de otra especie, y que ese gen podía mantenerse en el nuevo genoma y expresarse. Como vimos anteriormente, esto ya había ocurrido así en bacterias, y era de esperarse que se pudiera lograr en otros organismos. Chilton tuvo el mérito de haber estado entre los primeros que dilucidaron un método para hacer ingresar genes al genoma de una célula vegetal, y en lograr que esos genes se establezcan y que la planta pudiera crecer. De modo que su experimento fue un éxito y la revista *Cell* lo consagró como tal en su portada. Era de esperar que se pudiera obtener una planta transgénica y Chilton la obtuvo. Es cierto, no logró que los transgenes se expresaran

en proteínas y esto constituía una ‘anomalía’. Chilton reconoció que eso no se ajustaba a lo esperado, pero destacó que el gran paso de obtener una planta completa que tuviera genes de otra especie en su genoma se había logrado con éxito, y que con un poco más de práctica se lograría que esos genes se expresen también. La anomalía, según la perspectiva de Chilton, se resolvería dentro de los márgenes en que se venía desarrollando la transgénesis.

Pero otros investigadores comenzaron a explorar la anomalía desde otra perspectiva. Algunos consideraron que la anomalía era el resultado de un mecanismo que no había sido contemplado en la transgénesis: el silenciamiento génico. Aún más: la anomalía podía extenderse y llegar a explicar la totalidad de la planta transgénica de Chilton, desplazando a la transgénesis. Que la planta de Chilton fuera transgénica, era algo que el silenciamiento génico podía llegar a cuestionar.

Hervé Vaucheret, quien como dije se fue especializando en los mecanismos de silenciamiento génico desde fines de la década de 1980, considera que los estudios sobre silenciamiento génico en plantas permiten dar una explicación lógica a la ausencia de expresión de genes en la planta de Chilton. De hecho, Vaucheret sostiene que si Chilton logró obtener una planta completa se debe gracias a la acción del silenciamiento génico (Vaucheret, 2010).

Es posible distinguir dos tipos de argumentos en esta posición. Por un lado, diré que la explicación de la ausencia de expresión de los transgenes, debido al accionar del silenciamiento génico, constituye un argumento ‘fuerte’; mientras que la atribución de la capacidad de regeneración de la planta al silenciamiento génico es un argumento ‘débil’.

La explicación de que el silenciamiento génico habría provocado la ausencia de expresión de los transgenes en la planta de Chilton es un argumento ‘fuerte’ porque no aparece una explicación alternativa. Chilton, en 1983, reconoce la anomalía que supone la ausencia de expresión de los transgenes, pero no ofrece una explicación, sólo confía en que eso se resolverá con mayor experimentación. Luego no aparecieron tampoco explicaciones alternativas a la anomalía; los desarrollos en transgénesis vegetal simplemente descartaron las plantas con escasos niveles de expresión y se concentraron en los resultados satisfactorios, sugiriendo que con algunas construcciones genéticas se obtenían buenos niveles de expresión de proteínas.

Por otro lado, Vaucheret sostiene que para transformar la planta de Chilton se empleó un T-ADN no desarmado que, por lo tanto, contenía secuencias que codificaban para hormonas de crecimiento que generan tejidos indiferenciados (Vaucheret, 2010). En consecuencia, argumenta que sólo la inactivación de esos genes permitiría la regeneración de la planta. Podemos decir que se trata de un argumento ‘débil’, en la medida que Chilton sí ofrece una explicación a la regeneración que obtuvo de la planta, señala que sí desarmó el T-ADN inactivando los oncogenes. De hecho, otros investigadores que trabajan sobre el silenciamiento génico no comparten el argumento de Vaucheret. Matzke, quien estudia el silenciamiento génico pero además participó del experimento de Chilton, considera que la planta se regeneró porque el gen de resistencia a la kanamicina se insertó en la secuencia de un oncogén del T-ADN, inactivándolo (Matzke, 2010).

Si el silenciamiento génico surge como problema de investigación a partir de las anomalías que presentaban las primeras plantas genéticamente modificadas, entonces el modo de reconocer la primera planta transgénica supone un escenario de conflicto simbólico: ¿qué

es lo que debería reconocerse en esa primera planta, la posibilidad de la transgénesis vegetal o la importancia del silenciamiento génico?

En este sentido, el segundo argumento de Vaucheret contiene una imagen de alto impacto en este conflicto simbólico: si la planta transgénica se regeneró gracias a que los mecanismos de silenciamiento génico bloquearon la expresión de los oncogenes del T-ADN, ello implica que de no haberse producido el silenciamiento la célula transgénica sólo hubiera generado una masa tumoral. No es difícil imaginarse que una masa de tejido tumoral vegetal no hubiera constituido la portada de la revista *Cell*. En consecuencia, según este razonamiento, todo el mérito de ese experimento debería adjudicarse al silenciamiento génico y no a la transgénesis. O en todo caso, el mérito de la transgénesis se limitaría a poner en evidencia los fenómenos de silenciamiento génico. Se entiende entonces la función retórica de este argumento pero, como dijimos, no tiene más adherentes ni se afirma sobre una sólida base empírica; por el contrario, la propia metodología empleada en la transgénesis podía dar cuenta de la capacidad regenerativa de la planta.

Pero basta con considerar el argumento ‘fuerte’ de Vaucheret para entender que de la anomalía que presentaban las primeras plantas transgénicas fue surgiendo un campo disciplinar nuevo. Los distintos niveles de expresión de los transgenes que presentaban las plantas transgénicas constituían un problema para el que no había solución más que descartar los ejemplares que presentaban bajos niveles de expresión. En cambio, el silenciamiento génico dio una respuesta a esos problemas, pero bajo una serie de preceptos diferentes a los que guiaban los experimentos en transgénesis. Se trata de preceptos que ubican en lo que rodea a los genes el eje de preocupación y no en los genes mismos.

Intereses entre las plantas: industria y nichos del conocimiento

¿Cómo puede un mismo experimento ser interpretado como la prueba del éxito de la transgénesis y al mismo tiempo dar lugar a una teoría distinta que se sustenta en los problemas de la transgénesis? Según Collins, las interpretaciones heterodoxas de los datos se producen cuando no hay todavía un acuerdo sobre lo que sería un resultado esperable del experimento (Collins, 1992). ¿Será entonces que no había un acuerdo sobre si las proteínas de las plantas transgénicas debían expresarse o no? Por supuesto que sí. Desde los años 1940 se sabía que la gran mayoría de los genes se expresaban en proteínas, y esos transgenes en particular estaban dentro de ese grupo mayoritario. De modo que había un firme acuerdo respecto a los resultados esperables en la planta y, sin embargo, se fueron abriendo interpretaciones divergentes sobre el experimento. El punto está en que no había un único nivel de resultados esperables. Quizás sea demasiado simplista suponer que los científicos sólo esperan ‘un’ resultado de un experimento. Por lo menos en este caso, quienes desarrollaron el experimento tenían varias expectativas depositadas en los resultados. Por un lado, esperaban que al introducir el transgén, éste se transcribiera a ARN y se expresara en proteínas. Reconocieron que esto último no ocurrió. Pero sí lograron introducir el transgén, que se mantuviera en el genoma de la planta y que se transcribiera a ARN. Por lograr esto, el experimento fue considerado un éxito y se le consagró la portada de la revista *Cell*.

La clave está en la distinta valoración que se hizo de ese fenómeno. Para Chilton, que no se expresaran las proteínas era algo inesperado, pero en definitiva era algo menor, era un dato marginal, no afectaba al conjunto del experimento, era una cuestión técnica que se resolvería con un poco más de práctica en transgénesis. Por el contrario, para quienes desarrollaron la teoría del silenciamiento génico, la ausencia de expresión de proteínas en la planta transgénica era un fenómeno importantísimo, era algo que permitía redescubrir lo que la biología sabía sobre el funcionamiento de los genes. La pregunta es entonces por qué este fenómeno tuvo valoraciones tan distintas. ¿Qué es lo que estaba condicionando el marco conceptual de estos científicos para que algunos lo consideraran un fenómeno sumamente significativo, mientras que otros lo caracterizaron como algo más bien insignificante?

Una perspectiva dentro de los estudios sociales de la ciencia sostiene que aprender a distinguir lo que es significativo de lo que no lo es, supone una adquisición cultural que se podría denominar conocimiento tácito (Collins, 1992). Dentro de esta perspectiva, que ciertas personas tiendan a darle la misma valoración a las cosas, se explica por una cuestión de socialización: la transmisión de ciertos códigos que hacen que consideremos a algunas cosas como significativas y a otras como no significativas. Pero esto no explica por qué surgen esas valoraciones particulares y no otras. En cambio, hay otras perspectivas que buscan explicar los marcos conceptuales que emplean los científicos en función de la noción de 'interés' (Barnes, 1977; MacKenzie, 1978). De esta manera, los intereses cognitivos se refieren a los usos que podrían derivarse de una teoría y al modo en que esto incide en la posición que toman los científicos en la valoración y desarrollo de la teoría. El poder explicativo de la noción de 'interés' radicaría en otorgar un marco interpretativo sobre los orígenes y fines de las prácticas de los científicos ligados a un marco social amplio.

En el caso que nos ocupa, había un objetivo claro hacia el que se habían embarcado algunos laboratorios a fines de los años 1970, y era desarrollar plantas transgénicas. Millones de dólares fluían desde las transnacionales químicas hacia la investigación en ADN recombinante, buscando su lugar en el nuevo mercado de la biotecnología. La transgénesis aplicada a la agricultura constituía uno de los objetivos más anhelados por estas empresas (Kloppenburger, Kenney, 1984). Así como los científicos que habían contribuido a desarrollar las primeras bacterias transgénicas pasaron al poco tiempo a ocupar puestos importantes en empresas de ingeniería genética, las perspectivas no tenían por qué ser distintas para quienes desarrollaran la primera planta transgénica. En un momento en que las empresas invertían enormes cantidades de dinero para aspirar a desarrollar productos biotecnológicos, siendo que nadie aún dominaba el conocimiento al respecto, auguraba a quien lograra desarrollar una planta transgénica un lugar anhelado por la expectativa comercial.⁹ Pero también era un lugar cargado de recompensas simbólicas: obtenidas ya las primeras bacterias genéticamente modificadas, un importante reconocimiento aguardaba aún a quien pudiera obtener una planta transgénica. La revista *Cell* coronó a Chilton al publicar en la portada su planta transgénica por cuanto pasó a ser reconocida como la figura principal del campo. Reconocimiento al que también contribuyeron instancias tales como el simposio de 1983, donde Chilton, Schell y Horsch se mostraron como los iniciadores de la biotecnología vegetal.¹⁰

Bourdieu (1976) señala que es habitual en los científicos la transformación de capital científico en capital económico. Para quienes desarrollaron las primeras plantas transgénicas,

las dos formas de capital aparecían simultáneamente como posible recompensa: el prestigio de ser quien hace un aporte científico tan importante que inaugura un campo nuevo (la biotecnología vegetal) y el reconocimiento material que otorgaban las empresas (deseosas de incorporar entre sus filas a quien dominara las técnicas de este incipiente campo).

Esos intereses permiten explicar no sólo la conformación de una agenda de investigación (el intento de obtención de una planta transgénica), sino también el modo en que eran valorados los resultados de los experimentos. Es importante señalar que no pretendo adjudicarle estos intereses a Chilton de modo individual, sino de un modo general al conjunto de los actores vinculados al tema. En definitiva, fueron sus pares quienes reconocieron su experimento concediéndole la portada de una de las revistas más prestigiosas del área y de hecho nadie – en ese entonces – cuestionó el experimento. Dicho de otro modo: el campo científico vio los resultados tal como los vio Chilton, y es precisamente por eso que recibe reconocimiento.

Recordemos que si la intención era obtener una planta transgénica, el desafío pasaba por diseñar el vehículo que pueda transportar el ADN foráneo al núcleo de la célula vegetal y poder obtener una planta con el transgén. Chilton había hecho un aporte sustancial a tal proyecto al contribuir a diseñar el vehículo del transgén (caracterizando al plásmido Ti), y ahora daba un paso decisivo al mostrar que se podía obtener una planta entera (no sólo una célula) que tuviera en su genoma al transgén. ¿Por qué no se consideró relevante que las proteínas no se expresaran? Por un lado, porque quienes pertenecían a este nicho – al de los primeros científicos en biotecnología vegetal que tenían el prestigio y al de las empresas aguardando por las primeras plantas transgénicas – tenían un bagaje conceptual acumulado desde hacía muchas décadas, en gran parte de la biología, que les indicaba que lo importante era el gen, y que la proteína era, en todo caso, un subproducto del mismo. Por otro lado, su objetivo era obtener una planta transgénica, no caracterizar algún fenómeno particular dentro de las plantas; no eran las proteínas, sino la planta transgénica la que permitiría inaugurar una nueva fase de investigaciones y desarrollos. En definitiva, eran los usos que se le pretendía dar a esa planta (como vehículo para alcanzar un gran prestigio en el campo científico y para dar lugar a una etapa de desarrollos productivos que numerosas empresas aguardaban) lo que condicionaba la lectura que se hizo de los resultados del experimento: lo importante era que se había obtenido una planta que llevaba un transgén; lo que sucedía con las proteínas era algo menor.

Pero entonces, ¿por qué otros investigadores sí dedicaron sus preocupaciones a lo que ocurría con las proteínas en las plantas transgénicas? En primer lugar, es preciso destacar la distancia temporal, los años que hubieron de pasar hasta que esto se convirtiera en un problema de investigación. Obtener una planta transgénica era un objetivo desde fines de la década de 1970 y que se consiguió a principios de 1983. En cambio, los primeros estudios sobre el silenciamiento génico se publicaron en 1989 y se desarrollaron en los años posteriores. Esta diferencia de algunos años, entre un tema de investigación y otro, tiene una razón de ser. Una vez desarrolladas las primeras plantas transgénicas, los laureles correspondientes fueron entregados. Los primeros científicos en alcanzar ese objetivo recibieron los premios simbólicos y materiales que aguardaban. A los siguientes investigadores que trabajaban con plantas transgénicas no les aguardaban las mismas recompensas. El capital científico y material fue acumulado por los científicos pioneros en el área. Eso no significa que el incipiente campo

de la biotecnología vegetal ya estaba saturado; por el contrario, espacios para investigar y desarrollar plantas transgénicas había y sigue habiendo. Pero la recompensa a la que pueden aspirar esos investigadores ya no será la misma. Difícilmente el desarrollo de una planta transgénica pueda suscitar un reconocimiento intelectual y un interés comercial como el que concitaron esos primeros experimentos. En ese momento histórico concreto, desarrollar una planta transgénica consagraba a quien lo lograba como el poseedor de una habilidad y un conocimiento que nadie había conseguido adquirir aún.

¿Qué les queda a los siguientes investigadores en biotecnología vegetal? Sólo hacer sus aportes sobre la base de este conocimiento ya laureado. O bien, en términos de Bourdieu, adoptar una estrategia de subversión, vale decir, salirse de los cánones de ese campo, con los riesgos que ello implica, pero también con la posibilidad de adquirir un reconocimiento importante. Encontrar un mecanismo biológico completamente nuevo en algo que a los ojos de la transgénesis vegetal era una pequeña anomalía, permitía abrir un nuevo espacio de reconocimiento.

¿Es entonces el silenciamiento génico un paradigma científico distinto al que encierra la transgénesis vegetal? Pues, depende para quién. Para quienes desarrollan plantas transgénicas, el silenciamiento génico pasó a ser una herramienta más. Conocer estos mecanismos biológicos les permite a los investigadores evitar que sus transgenes sean bloqueados y obtener así codiciados niveles de expresión de proteínas. En cambio, para quienes buscaban ser los referentes en el silenciamiento génico, sí se trata de paradigmas distintos. Para ellos, el abordaje conceptual es distinto, los temas de investigación son distintos, el entorno de la investigación es distinto. Es que para conseguir un capital científico considerable, uno tiene que mostrar que lo que está haciendo es completamente nuevo. Aún cuando todos estos investigadores (los que desarrollaban plantas transgénicas y los que investigaban el silenciamiento génico) se habían formado con las mismas técnicas de biología molecular e incluso, en algunos casos, habían trabajado en los mismos laboratorios, sus tradiciones disciplinares comenzaron a mostrarse como distintas. Esa diferenciación implicó tanto una conceptualización del silenciamiento génico en términos de 'revolución científica' o de 'nuevo paradigma' (Matzke, Matzke, 2004), como en términos de una larga tradición científica opuesta a la genética de la biotecnología. En esa búsqueda por manifestar una tradición distinta, con su propia historia y orígenes ocultos, se llegó a decir que una publicación de 1928 sobre infección en plantas de tabaco podía considerarse el primer artículo sobre silenciamiento, aún cuando sus autores de entonces no lo supieran (Baulcombe, 2004). Así, el silenciamiento génico fue incluido dentro de la epigenética, una perspectiva que en los comienzos de la genética se había diferenciado de ésta, pero que luego no había logrado consolidarse. La epigenética estudia cambios en la expresión genética debido a fenómenos externos a los genes. Con la afirmación del silenciamiento génico como un campo distinto a otros, se creó un espacio institucional propio, con centros de investigación, publicaciones y financiamiento dirigidos a estudiar la epigenética. Un nicho nuevo surgía para estos investigadores, pero sólo a condición de mostrarse como claramente distinto al nicho de los biotecnólogos. Matzke, discípulo de Chilton y pionero en el silenciamiento génico, definía así las diferencias entre un campo y otro:

Mientras las compañías están luchando por encontrar medios para evitar el silenciamiento, unos pocos científicos que hacen investigación básica se han fascinado

con el fenómeno y están analizando una variedad de sistemas de silenciamiento. Para este último grupo, el fenómeno del silenciamiento representa más que una respuesta no deseada a genes exógenos; más bien, ha abierto una puerta que podría llevar a una comprensión más profunda de mecanismos antes insospechados por los cuales las plantas naturalmente usan secuencias de ácidos nucleicos homólogas o complementarias ... como un medio de control del exceso de producción de mRNA o de la replicación de ARN patógeno (Matzke, Matzke, 1995, p.679)

Estas palabras, más allá de la descripción que pretenden efectuar de la biotecnología y del silenciamiento génico, ponen de manifiesto la necesidad que portaban los investigadores de este campo de diferenciar las áreas. En definitiva, que el silenciamiento represente o no algo más que una respuesta no deseada a genes exógenos, depende de quién y para qué lo utilice, pues para quienes buscan producir plantas transgénicas, el silenciamiento es, efectivamente, un bloqueo de los transgenes; y que las compañías biotecnológicas empleen el conocimiento sobre silenciamiento génico para evitar que éste ocurra, evidencia que el silenciamiento también resultó ser un aporte importante para las propias compañías. Así, las diferencias o solapamientos entre la biotecnología y la epigenética dependen de dónde se ubique el actor que las enuncie.

A principios de los años 1980, encontrar una planta transgénica era ganarse el reconocimiento por algo que muchos anhelaban pero nadie aún había conseguido. A fines de esa década, encontrar un mecanismo biológico oculto en la transgénesis era ganarse un reconocimiento por un hallazgo completamente nuevo.

Consideraciones finales

Una vez obtenidas las primeras plantas transgénicas, las empresas de biotecnología pusieron a punto las técnicas de transformación, focalizándose en las plantas que tenían interés comercial para ellas. En un principio, la dificultad para expresar proteínas en las plantas transgénicas era parcialmente salvada descartando las plantas con poca expresión y conservando las que presentaban niveles de expresión más aceptables, en un simple mecanismo de selección y descarte. Cuando los estudios en silenciamiento génico dieron una explicación a estas dificultades, se diseñaron modos de evitar el silenciamiento y, así, obtener buenos niveles de expresión de los transgenes. Pero, en estos momentos iniciales de la transgénesis vegetal, hay una serie de claves que permiten entender algunas dinámicas de la investigación y desarrollo de plantas transgénicas en las décadas siguientes.

En primer lugar, hay una notable tensión dentro de los usos que se le dan a la transgénesis vegetal, ya sea como un objeto para ganar prestigio y posicionarse académicamente o para obtener plantas genéticamente modificadas que luego puedan ser empleadas con fines productivos. Es decir, hay diferentes intereses cognitivos en juego. Cuando todavía nadie había logrado obtener una planta transgénica, ambos usos se presentaban como valiosos para los científicos. Pero cuando producir una planta transgénica dejó de ser una novedad, los intereses cognitivos dentro del campo científico en relación con la transgénesis se diferenciaron. Esto ocurrió de un modo intenso en los comienzos del silenciamiento génico, cuando la búsqueda por encontrar un espacio académico propio en las anomalías de la transgénesis se opuso a los usos prácticos de la misma para obtener plantas transgénicas.

Por otro lado, la habilidad para transformar una planta relegó cuestiones tales como los niveles de expresión de proteínas o la variedad particular de la planta a un segundo plano.

Finalmente, hay una paradoja que merece destacarse. Cuando las plantas transgénicas aún no existían, la certeza acerca de su factibilidad hizo que anomalías como la falta de expresión de proteínas no fueran consideradas relevantes. En cambio, años después, cuando las plantas transgénicas ya existían en laboratorios y en ensayos a campo (e incluso, desde 1996, en el mercado de numerosos países), las anomalías de estas plantas son con frecuencia consideradas como prueba de la inviabilidad de las mismas. La primera planta transgénica no era, desde luego, todo lo que se esperaba que fuera: no podía expresar las proteínas del transgén. En su realidad material, la planta era un tanto defectuosa. Pero lo que consagró la portada de la revista *Cell* en 1983 fue otra cosa: es la idea de una planta transgénica lo que en realidad se reconoció. Precisamente porque la idea de que una planta transgénica constituía algo sumamente factible y cercano era una idea con tanto consenso, es que las anomalías se consideraron algo menor. Chilton demostró que la idea de una planta transgénica era un hecho admisible. Con esto no quiero sugerir que la naturaleza no juega un rol en la producción de conocimientos científicos. El experimento de la primera planta transgénica no permite interpretar cualquier cosa sobre la transgénesis, pero sí algunas cosas. Lo que pretendo señalar es que los modos de representar los fenómenos naturales no son unívocos y que los conflictos comienzan a suscitarse precisamente porque hay sistemas alternativos de representación (Hacking, 1983, p.139). Es la maduración de un sistema de representación de los fenómenos biológicos (que encuentra en los genes la unidad determinante), junto con herramientas que permiten manejar esas unidades biológicas (las enzimas de restricción, los plásmidos, *Agrobacterium*), lo que permitió diseñar y darles sentido a los resultados de los experimentos. Pero cuando otras formas de representación comienzan a imponerse, el sentido de las plantas transgénicas cambia. El experimento de Chilton podría haber sido considerado un éxito por conseguir una planta entera que contuviera un transgén, o podría haber sido considerado un fracaso por no haber podido expresar las proteínas del transgén. Si en su momento fue entendido en el primer sentido, es porque entonces primaban entre los científicos los intereses por conseguir el capital científico ligado a obtener una planta transgénica. Si al cabo de unos años las teorías del silenciamiento génico se desarrollaron, es porque el capital científico por la transgénesis ya había sido acumulado por otros investigadores, de modo que los nuevos científicos en el área debían diferenciarse si querían aspirar a un reconocimiento importante. Si a partir de los años 1990 las formas alternativas de representar la transgénesis trascendieron los ámbitos de investigación y desarrollo, es porque las plantas transgénicas – convertidas ya en mercancías concretas que circulan en el mercado internacional – comenzaron a ampliar el tipo de intereses que afectan e involucran.

NOTAS

¹ Además de su ADN cromosomal, las bacterias tienen una molécula de ADN circular llamada plásmido. En los plásmidos suelen encontrarse genes que le otorgan a la bacteria resistencia a algunos antibióticos. Además, las bacterias pueden traspasarse entre sí a los plásmidos.

² El artículo afirma que “el abordaje general que se empleó aquí para insertar el ADN ADH I en el genoma de plantas intactas, debería permitir el acceso a esa información” (Barton et al., 1983, p.1041; traducción libre).

³ ‘Ingeniería genética’ es un término amplio que alude a la manipulación del ADN de un organismo en general. La tecnología del ADN recombinante, en particular, implica la introducción de una secuencia de ADN propia de una especie en el genoma de otra.

⁴ Lederberg recibió el premio Nobel en 1958 por demostrar que existía intercambio de información genética entre las bacterias. Paul Berg fue el primero en obtener una molécula de ADN híbrido (ADN de dos orígenes distintos).

⁵ El ‘vigor híbrido’ permite resaltar ciertas cualidades en los cultivos. Sin embargo, no todas las plantas pueden cruzarse generando variedades híbridas. El maíz sí, razón por la cual se constituyó en un cultivo sobre el que las empresas semilleras volcaron sus esfuerzos de innovación para generar nuevas variedades híbridas. La clave del negocio, además, está dada por el hecho de que el vigor híbrido se pierde en las siguientes generaciones. Esto obliga a los agricultores a comprar nuevas semillas híbridas cada año. De este modo, sin necesidad de que existiera un marco legal que volviera a los agricultores dependientes de las semillas de las empresas, este fenómeno se producía igualmente debido a las propias características de la hibridación del maíz.

⁶ Estos tres grupos dieron a conocer sus resultados en un simposio en Miami, en enero de 1983. Unos pocos meses después, en abril de ese mismo año, un grupo de la Universidad de Wisconsin anunció que había realizado con éxito la introducción de un gen de poroto en células de girasol (Schlegel, 2007).

⁷ En 1941, Beadle y Tatum postularon la hipótesis que a cada gen correspondía una enzima, pero todavía no se conocía el modo en que se regulaba ese vínculo ni la naturaleza de los genes. Francis Crick formuló, en 1958, un esquema fundamental de la genética al establecer el ‘dogma central de la biología’, según el cual la información genética se almacena en el ADN, el cual luego se transcribe a ARN y finalmente éste se traduce en proteínas (Crick, 1958). Con el tiempo, algunas objeciones o complementariedades se formularían ante este esquema al comprobarse que no todas las secuencias de ADN se transcriben, así como el hecho de que hay proteínas que desempeñan un rol fundamental en el flujo de la información genética.

⁸ Collins considera que, al haber un desacuerdo acerca de lo que cuenta como un experimento realizado de manera competente, se abre un debate acerca de cuál es el resultado apropiado del experimento. Por otro lado, un resultado anómalo puede dar lugar a una variedad de interpretaciones diversas. El debate sólo termina con el control de la interpretación. Al respecto, ver Collins (1992). Esto no ocurrió con el experimento de Chilton, por lo menos no en ese orden. Durante un tiempo, persistió un modo uniforme de interpretar su experimento. Luego, al cabo de unos años, eso cambió.

⁹ En 1983, apenas se dio a conocer ‘la primera planta transgénica’, Mary-Dell Chilton fue reclutada por la empresa que luego se conocería como Syngenta. Al cabo de unos años, Syngenta se convertiría en una de las pocas empresas en el mundo que comercializa semillas transgénicas propias. En reconocimiento a las contribuciones de Chilton, en 2002, la empresa bautizó con su nombre a una de las instalaciones del Centro de Investigación en Biotecnología Agrícola, donde Syngenta concentra sus esfuerzos en innovación, ubicado en el polo tecnológico de Research Triangle Park, en Carolina del Norte.

¹⁰ Chilton también recibió numerosos reconocimientos institucionales, como la medalla Benjamin Franklin, el John Scott Award o la membresía de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y de la Academia Americana de Artes y Ciencias. La Universidad de Washington, donde Chilton desarrolló la primera planta transgénica, creó un título académico llamado Mary-Dell Chilton Distinguished Professor.

REFERENCIAS

- AFTALION, Fred.
A history of the international chemical industry. Philadelphia: Chemical Heritage Foundation. 2001.
- ALBERTS, Bruce et al.
Biología molecular de la célula. Barcelona: Omega. 1996.
- BARNES, Barry.
Interests and the growth of knowledge. London: Routledge and Kegan Paul. 1977.
- BARTON, Kenneth A. et al.
Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA, and transmission of T-DNA to R1 progeny. *Cell*, Cambridge, v.32, n.4, p.1033-1043. 1983.
- BAULCOMBE, David.
RNA silencing in plants. *Nature*, London, v.431, n.7006, p.356-363. 2004.
- BOURDIEU, Pierre.
Le champ scientifique. *Actes de la recherche en sciences sociales*, Paris, v.2, n.2, p.88-104. 1976.
- BRAUN, Armin.
A physiological basis for autonomous growth of the crown-gall tumor cell. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v.44, n.4, p.344-349. 1958.

- CHILTON, Mary-Dell.
Agrobacterium: a memoir. *Plant Physiology*, Lancaster, v.125, n.1, p.9-14. 2001.
- COLLINS, Harry.
Changing order. Chicago: University of Chicago Press. 1992.
- COLLINS, Harry.
Los siete sexos: estudio sociológico de un fenómeno o la replicación de los experimentos en física. In: Iranzo, Juan M. et al. (Comp.). *Sociología de la ciencia y la tecnología*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas. p.141-160. 1995.
- CRICK, Francis.
On protein synthesis. *Symposia of the Society for Experimental Biology*, New York, n.12, p.138-163. 1958.
- DE FRAMOND, Annick J.; BARTON, Kenneth A.; CHILTON, Mary-Dell.
Mini-Ti: a new vector strategy for plant genetic engineering. *Nature Biotechnology*, London, v.1, n.3, p.262-269. 1983.
- DRUMMOND, Martin et al.
Foreign DNA of bacterial plasmid origin is transcribed in crown gall tumours. *Nature*, London, v.269, n.5628, p.535-536. 1977.
- FOX KELLER, Evelyn.
El siglo del gen. Barcelona: Península. 2002.
- FRALEY, Robert T. et al.
Expression of bacterial genes in plant cells. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v.80, n.15, p.4803-4807. 1983.
- GORDON, Jon W. et al.
Genetic transformation of mouse embryos by microinjection of purified DNA. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Washington, v.77, n.12, p.7380-7384. 1980.
- HACKING, Ian.
Representing and intervening. Cambridge: Cambridge University Press. 1983.
- HANAHAN, Douglas; WAGNER, Erwin F.; PALMITER, Richard D.
The origins of oncomice: a history of the first transgenic mice genetically engineered to develop cancer. *Genes and Development*, New York, v.21, n.18, p.2258-2270. 2007.
- HERRERA-ESTRELLA, Luis et al.
Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector. *Nature*, London, v.303, n.5914, p.209-213. 1983.
- KLOPPENBURG, Jack; KENNEY, Martin.
Biotechnology, seeds, and the restructuring of agriculture. *Insurgent sociologist*, Eugene, v.12, n.3, p.3-17. 1984.
- MACKENZIE, Donald.
Statistical theory and social interests: a case-study. *Social Studies of Science*, Beverly Hills, v.8, n.1, p.35-83. 1978.
- MATZKE, Antonius.
[Depoimento]. Entrevistador: Pablo Ariel Pellegrini. Comunicação eletrônica; documento escrito. 21 abr. 2010.
- MATZKE, Marjori; MATZKE, Antonius.
Planting the seeds of a new paradigm. *PLoS Biology*, San Francisco, v.2, n.5, p.582-586. 2004.
- MATZKE, Marjori; MATZKE, Antonius.
How and why do plants inactivate homologous (trans)genes? *Plant Physiology*, Lancaster, v.107, n.3, p.679-685. 1995.
- MATZKE, Marjori et al.
Reversible methylation and inactivation of marker genes in sequentially transformed tobacco plants. *EMBO Journal*, Oxford, v.8, n.3, p.643-649. 1989.
- MURPHY, Denis.
Plant breeding and biotechnology: societal context and the future of agriculture. New York: Cambridge University Press. 2007.
- NAPOLI, Carolyn; LEMIEUX, Christine; JORGENSEN, Richard.
Introduction of a chimeric chalcone synthase gene into petunia results in reversible co-suppression of homologous genes in trans. *The Plant Cell*, Rockville, v.2, n.4, p.279-289. 1990.
- NEWTON, David.
DNA technology: a reference handbook. California: ABC-CLIO. 2010.
- REGAL, Philip J.
Metaphysics in genetic engineering: cryptic philosophy and ideology in the 'science' of risk assessment. In: Ad van Dommelen (Ed.). *Coping with deliberate release: the limits of risk assessment*. Tilburg: International Centre for Human and Public Affairs. p.15-32. 1996.
- SCHLEGEL, Rolph H.J.
Concise encyclopedia of crop improvement: institutions, persons, theories, methods, and histories. New York: Haworth Food and Agricultural Products Press. 2007.
- SMITH, Erwin F.; TOWNSEND, Charles O.
A plant-tumor of bacterial origin. *Science*, New York, v.25, n.643, p.671-673. 1907.
- SMITH HUGHES, Sally.
Making dollars out of DNA: the first major patent in biotechnology and the commercialization of molecular biology, 1974-1980. *Isis*, Chicago, v.92, n.3, p.541-575. 2001.

VAN MONTAGU, Marc.

It is a long way to GM agriculture. *Annual Review of Plant Biology*, Palo Alto, v.62, p.1-23. 2011.

VASIL, Indra.

A history of plant biotechnology: from the cell theory of Schleiden and Schwann to biotech crops. *Plant Cell Reports*, Berlin, v.27, n.9, p.1423-1440. 2008.

VAUCHERET, Hervé.

[Depoimento]. Entrevistador: Pablo Ariel Pellegrini. Comunicação eletrônica; documento escrito. 2 mar. 2010.

WRIGHT, Susan.

Molecular politics: developing American and British regulatory policy for genetic engineering, 1972-1982. Chicago: University of Chicago Press. 1994.

WRIGHT, Susan.

Recombinant DNA technology and its social transformation, 1972-1982. *Osiris*, Chicago, v.2, p.303-360. 1986.

ZAENEN, Ivo et al.

Supercoiled circular DNA in crown-gall inducing agrobacterium strains. *Journal of Molecular Biology*, London, v.86, n.1, p.109-127. 1974.

