

«Las plantas bajo el dominio del hombre» (I)

Conferencias de Francisco García Olmedo

Del 22 de octubre al 14 de noviembre, Francisco García Olmedo, catedrático de Bioquímica y Biología Molecular en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, impartió en la Fundación Juan March un «Aula abierta» sobre «Las plantas bajo el dominio del hombre», con la participación de Pilar Carbonero, también catedrática de la misma materia en la citada Escuela.

A continuación se ofrece un resumen de las cuatro primeras conferencias. En un próximo *Boletín Informativo* se dará el de las restantes.

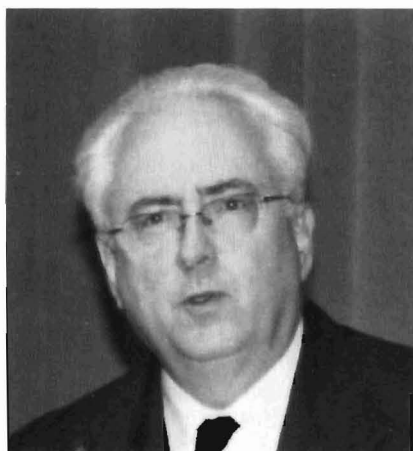
Es difícil imaginar cómo éramos antes de la caída. ¿Éramos torpes e ignorantes? ¿Era nuestra vida corta y azarosa? ¿Habitábamos en la fría y oscura caverna? ¿Éramos carnívoros insaciables? ¿Nos agotábamos en el incesante rastreo de la presa, siempre al borde de la inanición? La cultura popular tiende a contestar afirmativamente estas preguntas, en franca contradicción con la visión de Hesíodo: *Como dioses vivían, con la mente tranquila e imperturbada; Libres de los trabajos y angustias de nuestra condición; Nunca la edad decrepita desgració sus figuras; Las manos y los pies conservaban sus proporciones; Extraños a la enfermedad, sus vidas en fiestas fluyeron; Ricos en frutos; queridos por los dioses.*

Fuera de la imaginación poética, sólo nos quedan dos vías para indagar sobre ese nebuloso pasado: la del análisis de los datos etnográficos relativos a las poblaciones supervivientes de cazadores-recolectores, que se han acumulado en los últimos siglos, y la que representan los estudios arqueológicos. La evidencia en su conjunto, aunque débil, apunta más a la versión de Hesíodo que a la popular. Parece que nuestra especie se hizo con la inteligencia, surgió a plena luz del sol, sobre un sustrato vegetal, y vivió más de la recolección de los frutos del Edén que de la caza.

Durante casi toda nuestra existencia como especie culta, desde hace no menos de mil milenios y hasta hace apenas diez, los humanos hemos hecho vida de cazadores-recolectores, y nuestra biología y nuestros instintos son los que se acuñaron en ese largo período, no los que pudieran corresponder a los efímeros aunque potentes retos de la sociedad agrícola o de la industrial. De aquí la importancia que esta pesquisa sobre cómo éramos tiene para conocer quiénes somos en la actualidad.

Cada una de las dos vías de conocimiento antes aludidas tiene ventajas e inconvenientes: la primera ofrece datos precisos y abundantes sobre muestras de población cuya representatividad puede a veces estar en entredicho, mientras que la segunda depende de medidas elusivas y escasas, así como de inferencias arriesgadas, sobre los restos auténticos de las poblaciones de interés.

Ciertos análisis genéticos indican que la humanidad no debió superar los diez mil reproductores efectivos (unas decenas de miles de población real) durante el Pleistoceno, y otros indicios sugieren que la población humana apenas debía sobrepasar los diez millones de individuos cuando se empezó a introducir la agricultura, hace menos de diez milenios. Hasta ese momento, es probable que, salvo excepciones puntuales, la población estuviera muy por



Francisco García Olmedo es catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid y miembro de la European Molecular Biology Organization (EMBO), del Consejo Científico del CSIC y de la «Academia Europæa», entre otros. Anteriormente ha sido miembro de la Comisión Asesora Nacional de Ciencia y Tecnología y presidente de la Comisión de Manipulación Genética de EUCARPIA (Asociación Europea para la Investigación en Mejora de Plantas). De 1989 a 1994 fue miembro del Consejo Científico del Centro de Reuniones Internacionales sobre Biología, del Instituto Juan March de Estudios e Investigaciones. Ha recibido el Premio de la Real Academia de Ciencias y el Premio a las Ciencias de la CEOE. Autor de *La tercera revolución verde* (1998) y *Entre el placer y la necesidad. Claves para una dieta inteligente* (2001).

debajo de la capacidad del medio para sustentarla. Si aspectos esenciales de la vida de los marginados cazadores-recolectores supervivientes resultan ser satisfactorios, mucho más lo debieron ser en los tiempos en que ocuparon hábitats más amables.

Como han observado varios autores, parece que siempre que hay elección —lo que ocurre entre los 44º N y los 44º S—, la recolección predomina

ampliamente sobre la caza: de 33 poblaciones examinadas, en 28 se cumplía dicha circunstancia. Fuera de esa franja, predominan la caza y la pesca. La evidencia etnográfica parece desmentir el mito del cazador, en cuanto a que muchos supuestos cazadores no dependen en exceso de la caza y en cuanto a que los recolectores, en contra de lo que pudiera parecer, no requieren una fracción muy grande de su tiempo para obtener el alimento necesario.

Conviene advertir que incluso para los exclusivamente recolectores, la dieta no tenía por qué ser exclusivamente vegetariana, ya que también se recolectaban huevos, pequeños reptiles, mamíferos y bivalvos, insectos, caracoles y otros animales comestibles, lo que permite equilibrar desde el punto de vista nutritivo una alimentación con gran predominio de los vegetales. Apoyan estas ideas los estudios realizados sobre poblaciones tales como los Kung San del desierto del Kalahari en África, los amerindios californianos y los aborígenes australianos. Dichas investigaciones permiten concluir que miles de especies vegetales fueron usadas como alimento mientras nuestra especie estuvo en el paraíso. La dieta era variada a lo largo del año, con un período de escasez al final de la estación seca; la salud era al parecer mejor y la esperanza de vida mayor que la de las poblaciones sedentarias próximas.

Puede decirse que el hombre contemporáneo es el resultado de un matrimonio mal avenido entre una herencia genético-fisiológica acuñada en el paraíso de los cazadores-recolectores (en diez milenios no ha habido tiempo de cambiarla) y una herencia cultural principalmente cocida en el infierno urbano contemporáneo. La cultura perdida, la del ser humano en el paraíso, parece que incluía amplios conocimientos botánicos y biológicos (ciclos vitales, propiedades del material vivo, toxicidad, etc.), conocimientos agrícolas pretecnológicos (siembra y recolección, preparación del terreno, riego,

etc.) y había instaurado un tímido derecho de propiedad colectivo.

El invento de la agricultura

La abundancia de teorías acerca del origen de la agricultura es claro indicio de la poca información sólida que poseemos sobre cómo ocurrió este proceso. Parece indudable que un invento que conducía a un mayor esfuerzo por cada mil calorías de alimento recolectadas, tenía que responder a crisis locales o temporales en el sistema tradicional de caza-recolección.

El desarrollo de las plantas cultivables —el proceso de domesticación— fue la culminación de una tecnología cuyos elementos esenciales se habían venido practicando en los milenios inmediatamente anteriores. Aunque con un mayor esfuerzo para una misma cantidad de alimento, la práctica agrícola permitió alimentar a un número mucho mayor de personas por unidad de superficie. Por otra parte, la nueva tecnología fomentó la natalidad y el aumento de población fomentó a su vez la difusión de la agricultura por migración démica, según la terminología de Cavalli-Sforza.

La domesticación de las plantas supuso una profunda alteración de sus genomas, alteración genética que es comprobable gracias a las técnicas modernas de biología molecular que permiten comparar en detalle los genomas de la especie cultivada y de la silvestre a partir de la cual se domesticó. Tuvo un origen múltiple: las domesticaciones del trigo en el Oriente Próximo, del arroz en el Lejano o del maíz en el continente americano fueron inventos independientes, aunque las características de dichos inventos fueron esencialmente las mismas (fueron repeticiones del mismo invento).

Por la domesticación se eliminaron precisamente características que eran esenciales para la supervivencia de la especie en vida libre a cambio de conferirles caracteres de interés agronómi-

co. Por esta razón —su incapacidad para vivir por sí mismas en la naturaleza— ninguna de las especies vegetales que consumimos en la actualidad es natural. Afortunadamente, ya que natural no es sinónimo de inocuo (como sintético o artificial no lo es de tóxico) y de hecho las plantas silvestres poseen infinidad de sustancias tóxicas o inhibitorias que en parte fueron eliminadas durante el proceso de domesticación.

Con el invento de la agricultura la dieta pasó a depender mayoritariamente de un alimento básico (trigo, arroz, maíz, etc.) y esto supuso una mayor probabilidad de sesgo en el suministro de nutrientes (enfermedades carenciales), la aparición del consumo de alcohol obtenido por fermentación del grano básico, la aparición de hambres bíblicas por pérdida catastrófica de la cosecha principal y la posibilidad de almacenamiento excesivo de alimentos por parte de algunos individuos (pobres y ricos), entre otras consecuencias.

Examinemos el invento de la agricultura con más detalle en el ámbito europeo, a partir del acto fundacional con la domesticación del trigo diploide en las montañas de Karaca Dag (Mesopotamia). Las primeras cosechas en el Oriente Próximo fueron: trigo emmer, escaña (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccum*, tetraploide); trigo einkorn escaña menor (*Triticum monococcum*, diploide); cebada (*Hordeum vulgare*); lenteja (*Lens culinaris*); guisante (*Pisum sativum*); yeros/arvejas (*Vicia ervilia*); garbanzos (*Cicer arietinum*); habas (*Vicia faba*) y lino (*Linum usitatissimum*).

En distintos centros de domesticación se originaron las cosechas que se citan como ejemplo en la Tabla de la página siguiente.

De los grandes viajes a la hibridación vegetal

La búsqueda de las especias fue uno de los factores que impulsaron los grandes viajes de circunvalación. Des-

de al menos el 1500 a C las especias tuvieron importancia geopolítica y en el siglo I d C. 44 de 86 bienes importados por los romanos desde Asia y el Este de África eran especias. El mercado estuvo inicialmente dominado por los árabes (por mar desde Malasia e Indonesia a Madagascar y luego por la costa Este de África y el Mar Rojo), después por los propios romanos y más tarde por los venecianos (Ruta de la Seda). Pero a finales del siglo XV, los turcos ahogan el mercado y Europa se debate en la escasez de especias. Colón y Vasco de Gama salen a buscarlas. Este último las encuentra, mientras Colón descubre otras cosas.

Con los grandes viajes tiene lugar la primera globalización del material vegetal domesticado, así como de las malezas o malas hierbas. La aceptación de lo nuevo sigue un camino desigual y a menudo tortuoso: el pimiento, el maíz, la patata y el tomate, entre otros, viajan a Europa, mientras que la caña de azúcar, el trigo y la cebada viajan al nuevo mundo.

Otras cosechas, como la caña de azúcar o el té, reemplazan a las especias como protagonistas de la política internacional. Fueron los portugueses los que, tras un tímido inicio por los españoles, empiezan a protagonizar la producción de azúcar (controlando los esclavos en África y las plantaciones en Brasil), pero pronto les disputan la supremacía los holandeses y los ingleses. Por el azúcar los holandeses cambian Nueva York por Surinam en 1670, y un

siglo más tarde, en 1763, los franceses cambian Canadá por la isla de Guadalupe. Nadie podía imaginar entonces que el consumo por persona llegaría a cambiar de menos de 1 k/año a 30-50 k/año.

El té desempeñaría un papel central en los avatares políticos del Imperio Británico en India, China y Ceilán, donde promovería indirectamente el cultivo y el comercio del opio.

Con Linneo (1707-1778), la ciencia moderna es el instrumento principal en la conquista del Reino Vegetal por la especie humana. En una época en la que el descubrimiento de la nueva Flora se estaba haciendo a un ritmo sin precedentes, no vuelto a repetir, en Europa prevalecía la idea de que las especies eran estables y reflejaban el plan de Dios el primer día de la creación, el orden de la Naturaleza. Linneo rompe con los usos corrientes –anteriores y posteriores– que trataban de adivinar dicho plan y reflejarlo en la taxonomía, y propone un sistema artificial pero fácil, protagonizado por las características de los órganos sexuales, y una nomenclatura binómica (en latín) que viene a sustituir a un inmanejable sistema polinómico. El acierto consiste en separar la función diagnóstica de la denominativa. Sus principales obras son: *Sistema Naturae* (1735); *Genera Plantarum* (1737); *Hortus Cliffortianus* (1738); y *Species Plantarum* (1753), entre otras.

En el siglo XVIII se inician los primeros experimentos sistemáticos de hi-

Oriente Próximo	China	Sureste Asiático	América Central	América Andina	África Subsahar.
Trigos	Arroz	Leg. grano	Maíz	Patata	Sorgo
Cebada	Soja	Pepino	Guisante	Yuca	Mijo
Centeno	Colza	Berenjena	Calabaza	Cacahuete	Ñame o
Avena	Nabo	Coco	Pimiento	Pimiento	Batata
Guisante	Melocotón	Naranja	Tomate	Calabaza	Café
Garbanzo	Té	Plátano	Cacao	Piña	
Lenteja					
Haba					

bridación vegetal (se descubre la sexualidad de las plantas) y se inician las primeras empresas comerciales de semillas en Francia (Vilmorin) y en Inglaterra (Vietch) que habrían de perdurar hasta nuestros días.

Con el descubrimiento de las leyes fundamentales de la Genética en cruzamientos realizados con guisantes, con las teorías evolutivas de Darwin,

con la teoría cromosómica de la herencia (Sutton, Boveri) y con las aportaciones de Barbara McClintock, se cumpliría el siglo (mediado del XIX a mediados del XX) más brillante del largo esfuerzo del hombre por poner el Reino Vegetal bajo su dominio y se contribuiría a la gran síntesis mendeliana-darwiniana que sirvió de base a la biología moderna. □

Dirigida por José María Luzón, desde el 11 de marzo

«Temas clásicos de Arqueología»

Del 11 de marzo al 3 de abril, se celebra en la Fundación Juan March una nueva «Aula abierta», dedicada a «Temas clásicos de Arqueología», que dirige José María Luzón, catedrático de Arqueología de la Universidad Complutense de Madrid, con la participación de María del Carmen Pérez Die, Conservadora Jefe del Departamento de Egipto y Próximo Oriente del Museo Arqueológico Nacional, y Pilar León Alonso, catedrática de Arqueología en la Universidad Pablo Olavide de Sevilla y directora de las excavaciones en el Traianeum de Itálica.

El programa de las ocho conferencias públicas es el siguiente:

Martes 11 de marzo: «Héroes y Señores en la Edad del Bronce», por José María Luzón.

Jueves 13 de marzo: «Excavaciones españolas en Enhasya Elmedina (Heracleópolis, Egipto)», por María del Carmen Pérez Die.

Martes 18 de marzo: «Tartessos y el mar», por José María Luzón.

Jueves 20 de marzo: «Las primeras excavaciones en Pompeya y Herculano», por José María Luzón.

Martes 25 de marzo: «Los tesoros de Vergina», por José María Luzón.

Jueves 27 de marzo: «La Arqueología y el origen de los Museos», por José María Luzón.

Martes 1 de abril: «Bronces griegos sumergidos», por Pilar León Alonso.

Jueves 3 de abril: «Fondos documentales de Museos Arqueológicos», por José María Luzón.

José María Luzón es catedrático de Arqueología en la Universidad Complutense. Dirigió de 1970 a 1974 las excavaciones de la ciudad romana de Itálica en Santiponce (Sevilla). Ha sido catedrático de Arqueología en las Universidades de Santiago de Compostela, La Laguna y Cádiz; director del Museo Arqueológico Nacional; director general de Bellas Artes y Archivos y, de 1994 a 1996, director del Museo Nacional del Prado, donde comenzó el reordenamiento de la colección de esculturas. Ha publicado varios trabajos sobre las colecciones de antigüedades en los museos españoles y particularmente la formación de las galerías en el siglo XVIII.

«Las plantas bajo el dominio del hombre» (y II)

Conferencias de Francisco García Olmedo, con la colaboración de Pilar Carbonero

Del 22 de octubre al 14 de noviembre, Francisco García Olmedo, catedrático de Bioquímica y Biología Molecular en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de Madrid, impartió en la Fundación Juan March un «Aula abierta» sobre «Las plantas bajo el dominio del hombre», con la participación de Pilar Carbonero, también catedrática de la misma materia en la citada Escuela. Francisco García Olmedo es, además de catedrático de Bioquímica y Biología Molecular de la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid, miembro de la European Molecular Biology Organization (EMBO), del consejo científico del CSIC y de la «Academia Europæa», entre otros. Anteriormente ha sido miembro de la Comisión Asesora Nacional de Ciencia y Tecnología y presidente de la Comisión de Manipulación Genética de EUCARPIA (Asociación Europea para la Investigación en Mejora de Plantas). De 1989 a 1994 fue miembro del Consejo Científico del Centro de Reuniones Internacionales sobre Biología, del Instituto Juan March de Estudios e Investigaciones. Ha recibido el Premio de la Real Academia de Ciencias y el Premio a las Ciencias de la CEOE. Autor de *La tercera revolución verde* (1998) y *Entre el placer y la necesidad. Claves para una dieta inteligente* (2001). En el número anterior del *Boletín Informativo* se dio un resumen de las cuatro primeras conferencias. A continuación se ofrece el de las cuatro restantes.

La revolución verde

Se llamó revolución verde al sostenido incremento de la producción de alimentos que tuvo lugar en la segunda mitad del siglo XX, gracias a la mejora vegetal moderna. Según Borlaug, ésta consiste en la introducción consciente de diversidad genética en las poblaciones —por cruzamiento de progenitores con características sobresalientes y complementarias— y en la selección de plantas con genes que confieren los caracteres agronómicos deseados, hasta alcanzar niveles altos de adaptación, uniformidad genética y estabilidad agronómica.

Los rendimientos medios de las principales cosechas representan menos del 22 % de sus rendimientos récord. La



diferencia se debe sobre todo a los factores ambientales adversos, tales como la competencia de las malas hierbas, los suelos no óptimos y las condiciones meteorológicas desfavorables, así como a los efectos de plagas y enfermedades, causadas por insectos y microorganismos, respectivamente. La mejora genética de los cereales —maíz, trigo y arroz, que se reproducen sexualmente— ha protagonizado la revolución verde.

El político norteamericano H. R. Wallace creó en los años 20 la primera empresa de semillas híbridas de maíz, Pioneer Inc. Esta empresa se originó para explotar el vigor híbrido o heterosis, que es el aumento del vigor y del rendimiento que se produce en un híbrido con respecto a sus progenitores.

Norman E. Borlaug, en el Centro Internacional de Mejora de Maíz y Trigo (CIMMYT) en México, habría de llevar la mejora del trigo a sus más altas cimas, labor que fue reconocida con la concesión del premio Nobel de la Paz en 1970. La aportación de Borlaug incidió en el rendimiento potencial, al conseguir unas variedades semienanas con alto índice de cosecha, y afectó a la capacidad de adaptación de las nuevas variedades a condiciones agronómicas muy diversas. Hasta entonces se consideraba un dogma de la mejora vegetal que para obtener variedades bien adaptadas y de alto rendimiento había que hacer la selección en las mismas localidades donde iban a ser cultivadas. Imprevisiblemente, Borlaug refutó este dogma con sus resultados experimentales. Con objeto de acortar de 8 a 4 años el tiempo necesario para obtener una nueva variedad, este investigador decidió realizar dos ciclos completos de mejora por año. Para ello, eligió en México dos campos experimentales de características muy distintas, separados entre sí por 10° de latitud (diferentes en la duración del ciclo día/noche) y por 2.600 metros de altitud. Las variedades obtenidas –seleccionadas por su buen rendimiento en dos ambientes tan dispares– resultaron ser capaces de dar altos rendimientos no sólo en México, sino también en una variada gama de suelos y climas de todo el mundo, algo que hasta entonces se consideraba imposible.

La mejora del arroz se realizó a partir de 1958 de modo similar a la del trigo en el International Rice Research Institute (IRRI; Los Baños, Filipinas). Las variedades de alto rendimiento poseían caracteres bien concretos: ciclo corto (posibilidad de dos cosechas por año), floración independiente de la duración del día, talla semienana, resistencia a las plagas y enfermedades predominantes y buenas propiedades culinarias.

Aunque las especies mencionadas son las más importantes, la mejora ha incidido sobre todas las especies de in-

terés agronómico. Por ejemplo, en Estados Unidos, la producción media de las 17 cosechas principales se multiplicó por un factor de 2,4 entre 1940 y 1980, sin apenas incrementar la superficie en cultivo. Y entre 1950 y 1992, el grano disponible por habitante y año, pasó de 250 kg a más de 350 kg a escala global, y de 170 kg a 250 kg en los países en desarrollo. De hecho, según datos del Banco Mundial, en los últimos años se han producido aumentos en la producción de alimentos por habitante en todas las áreas geográficas, con excepción del Sahel.

Vegetales para el siglo XXI

Ante el nuevo siglo, se siguen asumiendo los objetivos de las etapas anteriores, pero se abre la posibilidad de plantear otros nuevos que no se podían abordar con las técnicas clásicas. Entre los objetivos heredados hay que distinguir los que responden a los retos fundamentales de la agricultura –que, recordemos, debe ser más productiva y más limpia– de los que responden a otras demandas sociales, sean de la industria o de los consumidores. Entre los objetivos nuevos se incluyen todos aquellos que implican la introducción de genes que proceden de fuera del reino vegetal para obtener aplicaciones o productos distintos de los tradicionales: nuevos productos industriales no alimentarios –como por ejemplo, plásticos biodegradables– que pueden suponer una significativa demanda potencial de suelo laborable; productos farmacológicos, de alto valor añadido y baja demanda de suelo; plantas útiles para la descontaminación ambiental (fitorremediación) o para otras aplicaciones medioambientales. Se ha progresado en distinto grado para los distintos objetivos propuestos: mientras que en unos casos se ha aprobado el uso comercial de variedades transgénicas, en otros se está en fase de laboratorio, de ensayo de campo o no se ha pasado del terreno de la hipótesis.

Producir una tonelada de alimento con una variedad moderna de maíz o de trigo requiere menos energía, menos suelo laborable, y menos productos fitosanitarios y fertilizantes que con una de las que se cultivaban hace treinta años. Sin embargo, en ese período el número de toneladas de alimento que deben producirse se ha más que duplicado para alimentar a una población que ha pasado de 3.000 millones a 6.000 millones de personas. Esto ha hecho que, a pesar de los perfeccionamientos conseguidos, el impacto de la actividad agrícola sobre el medio ambiente se haya agravado.

Si extrapolamos los rendimientos agrícolas al año 2025, basándonos en las tasas de mejora obtenidas en los últimos años, y los confrontamos con la demanda prevista para dicha fecha, según el crecimiento de la población y el de la demanda per cápita, nos encontramos con grandes déficits en casi todas las regiones del mundo. Esto significa que necesitamos un mayor ritmo de innovación para resolver este conflicto potencial.

Se dice con mucha frivolidad que la solución del problema del hambre en el mundo carece de una componente tecnológica, ya que se trata de un mero problema de reparto. Los que eso dicen ignoran que, aunque en efecto el hambre no es sólo un problema técnico, sí que tiene una componente técnica esencial. Así, en muchas regiones del mundo coexiste el hambre con los excedentes alimentarios. Es su precio la barrera que separa al alimento del hambriento. Los avances tecnológicos y los incrementos de producción de estas últimas décadas han abaratado los alimentos a un cuarto del precio que tenían (en divisas constantes) al principio del período. Si esto no hubiera ocurrido, no cabe duda de que el número de los que sufren hambre extrema sería varias veces superior al actual.

La superficie sembrada con semillas transgénicas ha pasado de poco más de 1 millón de hectáreas en 1996 a más de 50 millones de hectáreas en 2002. A

corto plazo, el futuro aumento va a depender de la opinión pública en Europa, volátil y erróneamente informada. A medio y largo plazo, no debe caber duda de que la nueva tecnología acabará consolidándose. La mejora genética vegetal –la mendeliana junto a la molecular– es una de las herramientas más poderosas que pueden ayudarnos a aumentar los rendimientos de la actividad agrícola y a hacer ésta más compatible con el medio ambiente.

Desde el punto de vista de los países menos favorecidos, el peligro no es que se aplique la nueva tecnología sino que no se aplique. En efecto, la revolución verde liderada por Norman Borlaug estuvo dirigida a dichos países y el 80%-90% de los trigos producidos actualmente en ellos se debe a esta iniciativa. Sin embargo, la nueva revolución está enfocada principalmente al mundo desarrollado, aunque países tales como China, India o Brasil hayan entrado de lleno en la nueva tecnología. Los peligros que merecen discutirse son el posible monopolio de la tecnología por muy pocas manos y la falta de mecanismos para abordar problemas que puedan ser específicos de los países más necesitados.

La ingeniería genética vegetal

La ingeniería genética es sólo un método más –una modalidad más de mejora genética– y sólo sirve para modificar uno o pocos genes de forma muy selectiva. No serviría para obtener razas de perro tan distintas –en su tamaño, morfología y temperamento– como el chihuahua y el pitbull terrier, que en cambio han surgido de la mano del hombre gracias a los métodos genéticos más tradicionales. Mediante la nueva tecnología se puede alterar un genoma por la adición de uno o varios genes que previamente no formaban parte de él o por la inutilización de uno o varios genes entre los ya existentes. Estas operaciones se hacen para conferir caracteres deseables y para eliminar

caracteres indeseables del organismo, respectivamente, objetivos que no difieren de los de la mejora genética tradicional.

En lo que sí difieren la vieja y la nueva tecnología es en el repertorio génico que se puede manejar —genes de la misma especie, en el caso de la vieja, y de cualquier especie, en el de la nueva— y en el modo de introducir y transferir la modificación genética, por vía sexual (utilizando el polen como vector) o por adición exógena (transformación), respectivamente. Los organismos modificados por transformación se suelen denominar transgénicos.

El problema de introducir genes foráneos en plantas (transformación) no se resolvió hasta 1982, en el Laboratorio de Genética de la Universidad de Gante, gracias a Mark Van Montagu y Jeff St. Schell, en competencia con la

norteamericana Mary Dell Chilton y con la empresa Monsanto. Estos investigadores aprovecharon la capacidad de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens* para introducir genes en el genoma vegetal utilizando el plásmido *Ti*. En la región del ADN de transferencia, junto con el gen de interés agronómico se introduce también un gen seleccionable que confiere resistencia a algún antibiótico o herbicida, o que permite una selección positiva del material vegetal transformado en un medio de cultivo apropiado (p. e., conteniendo manosa como única fuente de carbono). Para crear una planta transgénica es preciso integrar una pieza apropiada de ADN en el genoma de una célula y después regenerar una planta completa a partir de dicha célula. Al contrario de otros tipos de organismos, las plantas tienen la singularidad de que sus células son totipotentes (capaces de regenerar el organismo completo) si se las cultiva en medios adecuados. La introducción de ADN foráneo y posterior regeneración del explante vegetal hasta formar una planta completa, es fácil en algunas especies, tales como tomate, patata, tabaco, colza o la *Arabidopsis thaliana*. Sin embargo, algunas plantas de gran cultivo, tales como trigo, cebada, maíz y arroz, son más difíciles de transformar y regenerar *in vitro* y requieren considerable experiencia en el cultivo de tejidos. Una vez integrados, los genes se transmitirán a la descendencia del mismo modo que lo hacen los que componen el genoma original.

Para transformar aquellas especies más refractarias al método del *Agrobacterium* se han desarrollado métodos que permiten introducir ADN de forma directa en cualquier célula. Entre éstos, merece mención especial el llamado método biolístico o de microbombardeo. Partículas microscópicas de oro o wolframio se revisten con el ADN que se quiere introducir y luego se depositan en la punta de una bala macroscópica. El conjunto se acelera por pólvora, por descarga eléctrica o por helio a presión en un dispositivo, que vulgarmente



Pilar Carbonero Zalduegui es catedrática de Bioquímica y Biología Molecular de la ETS de Ingenieros Agrónomos de Madrid, miembro de la EMBO y de la Comisión Nacional de Bioseguridad. Ha sido directora de la División de Genética Molecular de Plantas del Centro Nacional de Biotecnología. Ha obtenido el Premio de Investigación de la Fundación General de la Universidad Politécnica de Madrid y la Medalla de esta Universidad.

llamamos la pistola génica, y la bala macroscópica es parada por un tope a la salida del cañón, el cual interrumpe su camino pero no impide que los microproyectiles sigan el suyo hasta penetrar en el tejido vegetal expuesto. Estas partículas recubiertas de ADN atraviesan la pared y la membrana celulares, introduciéndose en la célula sin afectar su viabilidad.

Las posibilidades que abre esta tecnología son extraordinarias. Por ejemplo, se han obtenido plantas (maíz, algodón, etc.) resistentes a insectos plaga que reducen drásticamente las necesidades de aplicación de insecticidas orgánicos de síntesis, o tolerantes a herbicidas, lo que facilita la siembra directa sobre los restos de la cosecha anterior, que ayuda a evitar la erosión y pérdida del suelo agrícola. También ha permitido alargar la vida comercial de los frutos, por inactivación de ciertos genes de senescencia y mejorar las propiedades nutritivas de las semillas, como es el caso del arroz dorado, con un alto contenido en provitamina A. La obtención facilitada de híbridos y la posibilidad de destoxificación de tierras contaminadas, tampoco hay que minusvalorarla.

Finalmente, esta tecnología ha permitido conocer mejor la biología vegetal (genética en reverso y efecto de la sobreexpresión de genes concretos) y al conocer mejor la naturaleza de las plantas estamos en condiciones de aprovechar mejor, con objeto de afrontar el gran reto de alimentar en los próximos 20 años a 2.000×10^6 de personas más.

De genomas y plantas

Los genomas de virus, bacterias, plantas y animales, que han requerido el diseño de potentes aparatos de secuenciación automática del ADN y el desarrollo de sofisticados programas bioinformáticos, han supuesto considerables inversiones cuya justificación se basa en que la información cifrada en el ADN de un organismo condiciona toda su biología, cómo, cuándo y dónde se

expresan sus genes. Esta información, que en el caso del genoma humano tiene indudables connotaciones biomédicas y filosóficas, en otros organismos, consideraciones evolutivas y prácticas aparte, tiene un interés básico ya que la comprensión de sus biología sólo se alcanzará cuando se llegue a conocer la función de todos y cada uno de sus genes.

En plantas se han completado los genomas de la planta modelo *Arabidopsis thaliana* y del arroz, un cereal que es la base de la alimentación de millones de seres humanos. Otras especies de interés agronómico y forestal también están en vías de ser secuenciadas. El proyecto inicial fue el de *Arabidopsis*, por tener sólo 5 cromosomas y un total de 150 Mb, por ser una planta de pequeño tamaño y susceptible de ser cultivada en espacio reducido y porque produce numerosas semillas en pocas semanas, lo que permite realizar estudios genéticos con facilidad. El hecho de poder obtener fácilmente *Arabidopsis* transgénica, vía plásmido *Ti* de *A. tumefaciens* también impulsó los estudios de genómica funcional.

Secuenciar el genoma de *Arabidopsis* con sus 25.000 genes tiene fundamentalmente un interés básico, aún cuando muchos de estos genes se han encontrado también en el arroz, con un genoma más complicado (430 Mb), a pesar de ser el más simple entre los de los cereales (trigo, maíz, cebada). En plantas de interés agronómico las cuestiones a dilucidar con estos proyectos son más aplicadas. Se trata de identificar los genes que proporcionan resistencia a enfermedades y plagas, o los que permiten la vida en medios adversos, por ejemplo, en condiciones de salinidad, sequía, temperaturas extremas, etc., así como identificar los genes implicados en un mayor rendimiento y en la mejor calidad de las cosechas.

Los datos de la genómica estructural han de completarse con los de la genómica funcional. Con este fin, la National Science Foundation de EE UU ha lanzado el programa «Plant Genomics

and Arabidopsis 2010». Esfuerzos similares, si bien de menor cuantía económica, se han propiciado en la Comunidad Europea. En ellos se abordan estudios de expresión global con micromatrices de DNA que se hibridan con sondas cDNA procedentes de distintos órganos y tejidos, de distintos momentos del desarrollo, de respuesta a distintos estreses bióticos o abióticos, etc. Son también particularmente interesantes aquellos proyectos que implican obtener mutantes de inserción (con T-DNA ó transposones) que permiten ha-

cer genética en reverso: del «knock-out» del gen al fenotipo. Si los genes para una función están duplicados, y por tanto la inutilización de uno solo de ellos no conduce a un fenotipo evaluable, pueden ser interesantes los mutantes que sobreexpresan el gen, o los dobles mutantes. Finalmente, la genómica estructural y funcional —cuando se logre comparar genomas de distintas especies—, permitirá comprender cómo opera la evolución para generar los distintos rasgos adaptativos en las distintas especies de seres vivos. □

«La obra literaria de Valle-Inclán», desde el 21 de abril

Conferencias de Luis Iglesias Feijoo

Del 21 de abril al 13 de mayo, se celebra en la Fundación Juan March una nueva «Aula abierta», dedicada a «La obra literaria de Valle-Inclán», que imparte, en ocho sesiones, Luis Iglesias Feijoo, catedrático de Literatura española de la Universidad de Santiago de Compostela. El programa de las ocho conferencias públicas es el siguiente:

Lunes 21 de abril: «Valle-Inclán en su generación: el modernismo».

Martes 22 de abril: «Valle, narrador: Sonatas y Guerra carlista».

Lunes 28 de abril: «Valle y el teatro».

Martes 29 de abril: «Valle-Inclán en transición: los años 10».

Lunes 5 de mayo: «Valle y el esperpento».

Martes 6 de mayo: «Valle-Inclán: la narrativa última».

Lunes 12 de mayo: «Valle-Inclán: las farsas».

Martes 13 de mayo: «Valle-Inclán: Luces y bohemia».

Luis Iglesias Feijoo (La Coruña, 1945) es catedrático de Literatura española en la Universidad de Santiago de Compostela. Especialista en Literatura española del Siglo de Oro y

contemporánea y en Teoría del teatro. Ha sido profesor visitante en diversas universidades norteamericanas. Autor del libro *La trayectoria dramática de Antonio Buero Vallejo* (1982); de la edición con prólogo y notas de ocho de los dramas de este autor, entre ellos *Un soñador para un pueblo* (1989) y *El tragaluz* (1993); de la edición crítica de *Divinas palabras* de Ramón del Valle-Inclán (1992); y de artículos sobre destacados escritores españoles.

En 1994 publicó las *Obras completas* de Antonio Buero Vallejo (en colaboración con Mariano de Paco) y en 1996 el volumen inicial de la edición de las *Obras completas* de Mariano José de Larra, que constará de cuatro. En la actualidad coordina la publicación de las comedias completas de Calderón de la Barca. □