



El Correo

MARZO 1987 - 9 francos franceses (España: 240 pts. IVA Incl.)

*Biotecnología,
agricultura*

y desarrollo

La hora de los pueblos



Foto Bernard Wolff/Unicref

En las calles de Freetown

Sierra Leona, estado de la costa occidental de Africa, con una población aproximada de 3.600.000 habitantes, debe su nombre a la silueta de península montañosa de Freetown, su capital, bautizada con aquel nombre por el explorador portugués Pedro de Sintra hacia 1460. Creada en 1787 por quienes querían ofrecer un refugio a los esclavos liberados, Sierra Leona alcanzó la independencia en 1961, convirtiéndose en una república diez años después. Aproximadamente el 65 % de la población activa trabaja en la agricultura, dominada por el cultivo del arroz. Sierra Leona es el sexto productor mundial de diamantes. En la foto, un joven futbolista juega con el balón en una calle de Freetown.



En las décadas de los años 60 y 70 la creación de variedades de cereales de alto rendimiento y el empleo de los plaguicidas, del riego y de los fertilizantes dio lugar en algunas regiones del Tercer Mundo —pero no en todas— a una Revolución Verde. Este número de *El Correo de la Unesco*, dedicado en gran parte a la aplicación de las nuevas técnicas científicas a la agricultura, examina la posibilidad de que esa Revolución Verde vaya seguida por una “Revolución Biotecnológica” que podría ayudar a resolver los problemas alimentarios de los países en desarrollo.

Aunque sea reciente el empleo de la palabra biotecnología para referirse a la utilización de las capacidades bioquímicas y genéticas de los organismos vivos con fines prácticos, los hombres han realizado actividades biotecnológicas desde tiempos remotos. La fermentación y la mejora de variedades de plantas y animales por hibridación constituyen dos ejemplos entre tantos. La nueva biotecnología difiere, sin embargo, de esas prácticas venerables en que utiliza la ingeniería genética y las técnicas de fusión de células procedentes de distintos organismos para superar las barreras infranqueables que existen entre las especies. De la ingeniería genética (o empalme de genes), consistente en transmitir directamente los genes —“esos pequeñísimos puentes de mando de la herencia que deciden si las células vivas se transformarán en bacterias, en sapos o en hombres”— a células de una especie diferente, se ha dicho que es “la más poderosa y terrible facultad que el hombre haya conquistado desde la fisión del átomo”.

En la primera parte de este número se examinan en detalle algunos de estos métodos biotecnológicos: ¿cómo funcionan?, ¿cómo se utilizan actualmente en diferentes partes del mundo y cuáles han sido sus consecuencias?, ¿cuáles son las últimas orientaciones en este ámbito en que el cambio es rápido y las posibilidades vastas? Nuestros colaboradores hacen sobre todo hincapié en las aplicaciones directas de la biotecnología a la agricultura de los países en desarrollo, pero también aluden a su empleo efectivo y potencial en lo que atañe a la producción de energía, a la medicina animal y humana, al tratamiento de productos alimenticios y a la solución de los problemas ecológicos.

La segunda parte plantea cuestiones más generales: ¿cómo aprovechar mejor la biotecnología para el desarrollo en contextos sociales, económicos e industriales diferentes? ¿Serán una auténtica panacea o, al contrario, agravarán las disparidades que existen entre los países en desarrollo y los industrializados? La nueva biotecnología y, en especial, la relativa a las plantas, pone vastas posibilidades en manos de quienes la controlan. ¿Cómo ejercer de la mejor manera posible ese poder? ¿Cómo organizar equitativamente el acceso a los frutos de las investigaciones basadas en los recursos fitogenéticos de los países en desarrollo?

La Unesco, de cuyo esfuerzo a escala mundial para fomentar el desarrollo rural mediante la formación en materia de recursos microbiológicos se da cuenta en la página 27, presta particular atención a estas cuestiones como parte de su tarea primordial de promover el uso de la ciencia y de la tecnología al servicio de la humanidad. En el artículo con que concluye este número, el Dr. Sasson se ocupa del complejo carácter de estos problemas y expone sus ideas sobre la manera de enfocarlos y de darles la solución adecuada.

Jefe de redacción: Edouard Glissant

4

La nueva biotecnología

Promesas y realizaciones
por Jacques C. Senez

7

La Revolución Verde

13

La revolución de los genes

por Bernard Dixon

17

Hortalizas industriales

Las “agrofactorías” futuristas del Japón
por Koichibara Hiroshi

20

Híbridos para el año 2000

por Raisa G. Butenko y Zlata B. Shamina

22

Las semillas de la esperanza

por Edward C. Wolf

24

Redescubrir la agricultura tradicional

26

Una vaca llamada Rusitec

27

Nuestros amigos los microbios

Un programa de la Unesco para poner la biotecnología al servicio del desarrollo
por Edgar J. DaSilva, J. Freire, A. Hillali y S.O. Keya

29

La biotecnología y el Tercer Mundo

por Albert Sasson

34

Breve glosario de biotecnología

2

La hora de los pueblos

REP. DE SIERRA LEONA: En las calles de Freetown

Portada: Photo © Periscoop, Paris

La nueva biotecnología

Promesas y realizaciones

LO que en nuestros días se da en llamar "biotecnología" tiene sus orígenes en los albores de la civilización. En efecto, desde tiempo inmemorial el hombre viene utilizando sin saberlo las actividades de los microorganismos para producir alimentos y bebidas fermentadas. Ese tipo de producción se fue desarrollando progresivamente en forma artesanal hasta alcanzar un alto grado de perfección. Pero la biotecnología propiamente dicha, es decir la utilización científica de la biología con fines prácticos, no se inició hasta fines del siglo pasado con el nacimiento de la microbiología, cuya primera aplicación fue la fermentación industrial en sus diversas formas.

Tras la segunda guerra mundial el progreso de la biología se aceleró de manera prodigiosa. En sólo unos cuantos años se pudo elucidar los mecanismos fundamentales de la vida y de la herencia en el plano molecular, lo que abrió a la ciencia y a la técnica perspectivas ilimitadas, despertando a menudo, por sus connotaciones demiúrgicas, el interés y aun el entusiasmo del público. Así ocurre en particular con la ingeniería genética (véase el artículo de la pág. 13).

La transferencia de material genético entre organismos tan distintos entre sí como las bacterias, las plantas, los animales y el hombre ha suscitado grandes esperanzas,

algunas de las cuales, como la de producir insulina humana mediante bacterias recombinadas *in vitro*, se han convertido ya en realidad. Más adelante veremos como estos métodos están a punto de tener en la agricultura otras aplicaciones de considerable importancia económica y sociológica. Mas no debe creerse que las perspectivas de la biotecnología se limitan a las de la ingeniería genética. No menos prometedores son los recientes progresos experimentados por los conocimientos fundamentales y por las técnicas en materia de fisiología celular, de bioquímica, de catálisis enzimática y de bioingeniería.

Es general la idea de que la biotecnología y, en particular, a sus aplicaciones a la agricultura les espera un espléndido futuro en los países en desarrollo. Tal esperanza es sin lugar a dudas fundada. Pero no hay que olvidar que el progreso lleva también aparejados peligros potenciales que no deben menospreciarse sino que hay que prevenir en la medida de lo posible.

El primer logro importante de la biotecnología agrícola fue la Revolución Verde, cuyos ambiciosos objetivos se han alcanzado en gran parte (ver el artículo de la pág. 7). Gracias a ella la India, Bangladesh y otros varios países del Tercer Mundo se autoabastecen hoy en materia de alimentos. Pero, en el plano sociológico, ese éxito ha ido acompañado de consecuencias imprevistas. En efecto, el cultivo de cereales de gran rendimiento requiere unas inversiones en abonos, plaguicidas y riegos que gran parte de los campesinos no podían realizar, por lo que han terminado por perder sus tierras en provecho de los grandes terratenientes y por engrosar las filas del subproletariado de las ciudades.

Una de las consecuencias socioeconómicas de la biotecnología es, por ejemplo, el hundimiento del precio mundial del azúcar.

En esta escena de una tumba de Tebas se ve trabajando a un grupo de panaderos y de cerveceros egipcios de hace 3.500 años. Desde hace miles de años se vienen aprovechando ciertos procesos "biotecnológicos" como la fermentación microbiana para obtener productos tales como la cerveza y el queso.

El fenómeno, originado en gran parte por la producción de isoglucosa en los Estados Unidos, ha arruinado a numerosos países tropicales cuya economía se basa en el cultivo de la caña de azúcar.

Por fortuna, no siempre la biotecnología va cargada de tales amenazas. Pero, como veremos más adelante, algunas de sus aplicaciones pueden incrementar aun más, en vez de disminuir, la dependencia del Tercer Mundo respecto de los países más ricos y científicamente más avanzados (véase el artículo de la pág. 29).

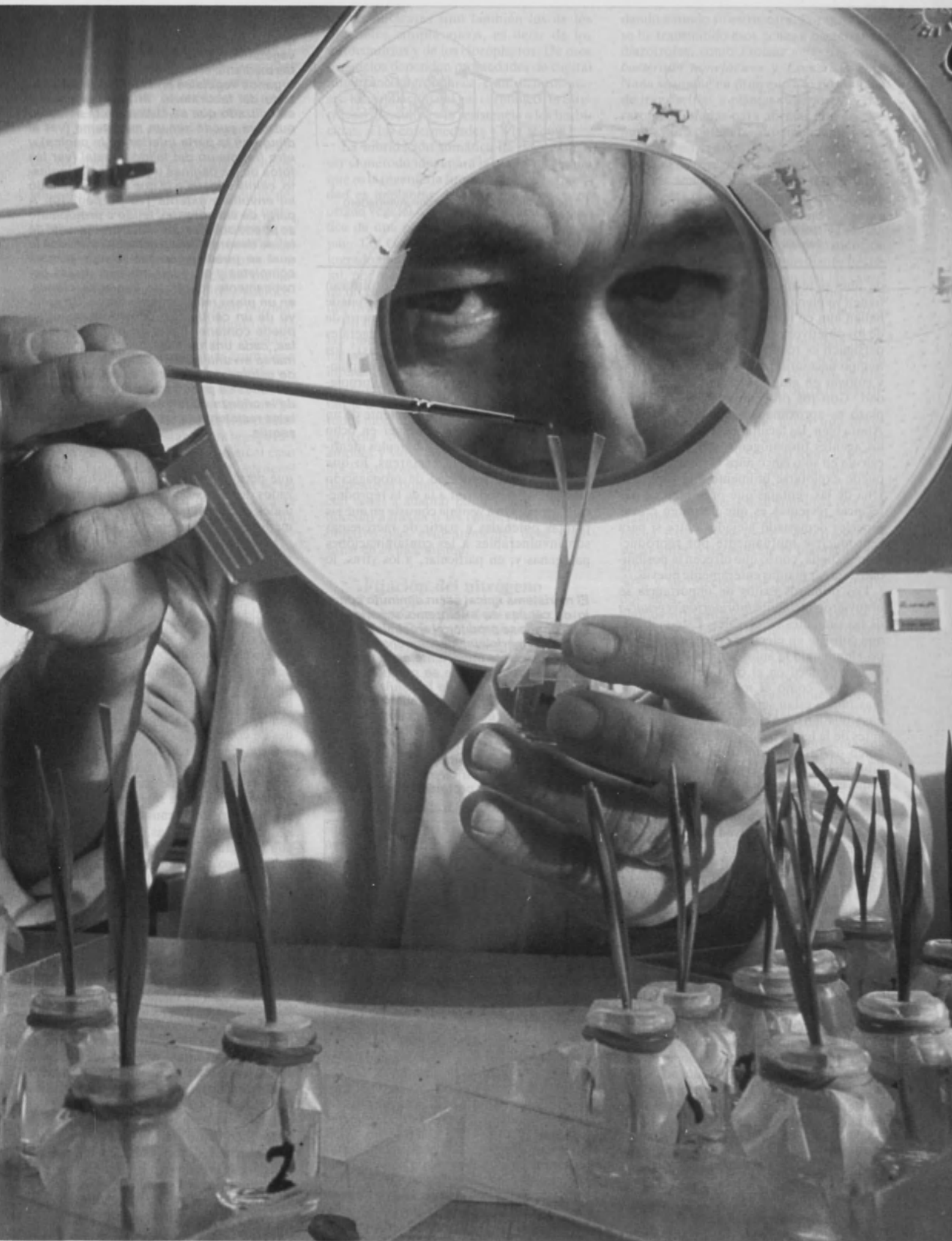
Los países en desarrollo deben pues concentrar sus esfuerzos en programas que tengan para ellos un interés directo y, al mismo tiempo, estén a su alcance habida cuenta de sus capacidades financieras y económicas. La agricultura ofrece esas posibilidades esencialmente en dos ámbitos: el de la *producción primaria*, que comprende sobre todo el mejoramiento de las plantas y la fijación del nitrógeno, y el de la *bioconversión* de productos y desechos agrícolas con vistas a producir energía y alimentos.

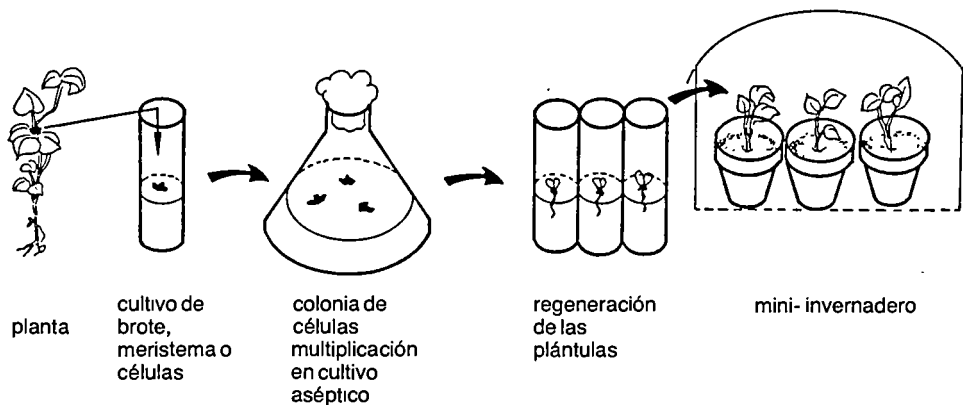
Cosechas abundantes y plantas resistentes

Desde siempre vienen dedicándose los hombres a mejorar las plantas con los métodos tradicionales de selección y cruce. Los de selección se han perfeccionado gracias a los logros recientes de la genética y de la fisiología vegetales y durante largo tiempo continuarán aun dando resultados de gran importancia. Así, en los últimos 30 años el rendimiento del maíz ha pasado de 12 a 62 quintales por hectárea mientras el del trigo aumentaba como promedio un quintal por año y por hectárea. Se han conseguido progresos similares con el arroz, que es, por orden de importancia, el segundo de los grandes cereales de todo el mundo y del que el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI), fundado en Filipinas en 1962, posee actualmente una colección de 60.000 variedades (véase *El Correo de la Unesco* de diciembre de 1984). Además del rendimiento, el principal objetivo de la selección es obtener nuevas variedades resistentes a los parásitos y a las enfermedades bacterianas o virales.

En los últimos años han surgido una serie







En el dibujo se explica de manera simplificada la técnica que sirve de fundamento a la biotecnología actual: la multiplicación vegetativa (es decir asexual) de las plantas mediante el cultivo de células, tejidos y órganos vegetales en el ambiente esterilizado del laboratorio. El material vegetal esterilizado que se cultiva en la solución nutritiva puede ser un meristema (ver el dibujo en la parte inferior de la página) u otro fragmento del tejido vegetal (ver las fotos de las páginas 8 y 9) o un protoplasto, célula vegetal a la que se le ha quitado su envoltura exterior (ver la pág. 10). A partir de este órgano, tejido o protoplasto se puede obtener una masa proliferante de tejido desorganizado llamada callo, con la cual se pueden generar nuevas plantas completas y producir muchas copias genéticamente idénticas, llamadas clones, en un plazo relativamente breve. Un cultivo de un centímetro cúbico de volumen puede contener hasta un millón de células, cada una de ellas capaz de transformarse en una nueva planta. Seleccionando células dotadas de determinadas propiedades se puede acelerar en gran medida la crianza de nuevas variedades vegetales resistentes a las enfermedades y a la sequía.

de nuevas técnicas, algunas de las cuales tienen ya plena aplicación mientras otras se hallan aun en la fase del laboratorio. Uno de los objetivos principales que con ellas se persiguen es reducir considerablemente el tiempo necesario para poder comercializar y cultivar en gran escala una nueva variedad. Con los procedimientos clásicos el plazo es aproximadamente de diez años. Ahora bien, las facultades de adaptación de los agentes fitopatógenos son tales que se calcula en sólo cinco años el tiempo en que puede explotarse útilmente una variedad. Una de las ventajas que presentan ciertas técnicas recientes es que permiten cruzar especies demasiado alejadas entre sí para reproducirse mutuamente por reproducción sexual, con lo que ofrecen la posibilidad de crear plantas enteramente nuevas.

Los primeros éxitos de importancia se obtuvieron mediante *hibridación vegetativa* de las simientes de cereales. Este método, que consiste en efectuar cruces entre plantas eliminando la autofecundación, es relativamente fácil en el caso de los cereales alógamos, como el maíz, cuyos órganos masculinos están separados de los femeninos y pueden pues eliminarse manualmente antes de la fecundación de los óvulos por el polen de otro individuo. Más difícil es la hibridación de los vegetales autógamos, como el trigo, el tomate, la soja y el altramuces, en cuya flor los órganos masculino y femenino están muy próximos. Tal dificultad ha quedado hoy salvada gracias al descubrimiento de compuestos químicos gametocidas que vuelven estéril el polen.

En los últimos tiempo se han comercializado numerosas variedades de híbridos de cereales y otras plantas. En general, hay que sembrar la tierra con semillas híbridas de primera generación. En efecto, las semillas híbridas tienden en la mayoría de los casos a degenerar, lo que obliga a renovarlas anualmente. En todo caso, el mercado mundial de las semillas híbridas está aumentando rápidamente y, según cálculos recientes, alcanzará en el año 2000 los veinte mil millones de dólares.

Más lejanas, pero seguramente no menos prometedoras, son las perspectivas que ofrecen otros métodos aun en curso de elaboración. Uno de ellos es el de la *multiplicación vegetativa in vitro* o *micropropagación* mediante cultivo de meristema y de otros tejidos vegetales. Llámase meristema a la cúpula de células embrionarias de unas cuantas décimas de milímetro de espesor situada en la extremidad apical de los tallos. Cultivadas asépticamente en un medio

nutritivo sólido, esas células proliferan dando como resultado un callo que puede dividirse y reproducirse gran número de veces. Tratados con hormonas vegetales (auxinas, citokinas y gibberelinas), los callos inorganizados se diferencian en plántulas completas dotadas de todas las propiedades de la planta inicial. Así, a partir de un solo tubérculo de patata proveniente de un meristema se ha podido obtener en ocho meses dos mil millones de tubérculos idénticos distribuidos en 40 hectáreas, lo que representa una velocidad de propagación cien mil veces superior a la de la reproducción sexual. Otra ventaja consiste en que las plantas obtenidas a partir de meristemas son invulnerables a las contaminaciones patógenas y, en particular, a los virus, lo

El meristema apical es un diminuto cúmulo de células en el extremo superior del tallo donde se produce el crecimiento de la planta. El meristema desempeña un papel particularmente importante en la multiplicación vegetal porque se mantiene sano aun cuando el resto de la célula se halle infectado por un virus. El cultivo in vitro del meristema de una planta enferma permite generar una nueva planta sana y producir así rápidamente material vegetal libre de virus. Abajo, dibujo de la sección de un brote vegetal en cuyo centro se ve el meristema apical, protegido por yemas de hojas envoltoras.



Dibujo © La recherche, París

que permite regenerar los cultivos amenazados de desaparición a causa de enfermedades que no pueden combatirse por otros medios.

La agricultura tropical puede obtener grandes ventajas de la micropropagación. Por ejemplo, una sola palma de aceite regenerada a partir de un fragmento de tejido foliar puede proporcionar en un año 500.000 plantas idénticas, resistentes a la filariosis y con un rendimiento de hasta 6 toneladas de aceite por hectárea y año, es decir de 6 a 30 veces más que las principales plantas oleaginosas (girasol, soja, cacahuete). Esta misma técnica se está aplicando a la propagación de nuevas variedades de cocotero.

Otra técnica a la que espera con toda seguridad un brillante futuro es la producción *in vitro* de plantas haploides. Los métodos tradicionales de selección resultan largos y engorrosos a causa de la diploidia de las plantas vegetativas, es decir debido a que las células que las forman poseen un doble juego de cromosomas (2N) provenientes de cada uno de los padres. Por consiguiente, ciertos caracteres llamados "recesivos" que posee un cromosoma están ocultos por la "dominancia" del cromosoma homólogo y no acaban por expresarse fenotípicamente, por segregación mendeliana, hasta pasadas varias generaciones, lo que retrasa consecuentemente el trabajo del seleccionador. Esta dificultad puede salvarse gracias a la reciente elaboración de técnicas análogas a las de la micropropagación que permiten obtener una planta entera bien a partir de un gameto macho (androgénesis), bien de un gameto hembra (ginogénesis). Esas plantas, como el gameto del que provienen, son haploides. Poseyendo como poseen un solo juego de cromosomas (N), todos sus caracteres genéticos, sean recesivos o dominantes, se expresan y pueden ser seleccionados inmediatamente. Las plantas haploides suelen ser infecundas, pero tratándolas con colchicina, que produce el desdoblamiento de los

cromosomas, se acaba por obtener una planta fecunda cuyos dos juegos de cromosomas son idénticos (planta diploide totalmente homocigótica) y cuyos caracteres fenotípicos son estables. Otra técnica de ginogénesis consiste en fecundar un óvulo mediante polen irradiado.

En China se han plantado varios millones de hectáreas de tierra con nuevas variedades de arroz obtenidas por androgénesis. Por otra parte, se está experimentando en laboratorio el procedimiento de ginogénesis con la cebada, el arroz, el trigo, el maíz, la remolacha azucarera y otras especies.

Grandes esperanzas suscita también la *hibridación somática*, técnica consistente en hacer que se fusionen dos células previamente despojadas de su envoltura pectocelelular mediante un tratamiento enzimático (protoplastos). De este modo se ha logrado fusionar no sólo células vegetales entre sí sino también con células animales e incluso humanas. No obstante, en la mayoría de los casos los cromosomas de una de las células fusionadas quedan rápidamente eliminados y sólo pueden obtenerse células híbridas completas y estables entre especies muy próximas. Además, incluso en el caso de los linajes estables es difícil la regeneración de una planta completa a partir de un protoplasto. El primer éxito obtenido en la materia ha sido el "patomate", planta híbrida de patata y tomate pero que es estéril y sólo representa como tal una curiosidad de laboratorio.

Más recientemente se logró regenerar los protoplastos de varias plantas de interés agronómico, especialmente la colza, la achicoria y la patata. En cambio, han fracasado hasta ahora los intentos realizados con el girasol, los cereales y las leguminosas. Cabe de todos modos abrigar la esperanza de que se superen próximamente las dificultades actuales, al menos para hibridar variedades de una misma especie. El gran interés de la hibridación somática radica en que permite transferir no sólo los caracteres genéticos de que son portadores los cromosomas nucleares sino también los de los organelos citoplásmicos, es decir de los mitocondrios y de los cloroplastos. De esos organelos dependen propiedades de capital importancia agronómica, como la fotosíntesis, la asimilación del gas carbónico, la esterilidad masculina y la resistencia a los herbicidas, a las enfermedades y a la sequía.

La hibridación somática ha demostrado ser el método ideal para la nueva disciplina que es la ingeniería fitogenética, cuya finalidad es implantar determinados genes, de origen vegetal u otro, en la estructura genética de una planta (véase el artículo de la pág. 13). Gracias a esas nuevas técnicas se ha logrado mejorar la calidad nutritiva del frijol, por ejemplo, mediante la transferencia de un gen proveniente de otra planta (nuez del Brasil).

En los Estados Unidos, Japón y Europa las perspectivas abiertas en materia de mejoramiento de las plantas despiertan el interés creciente de una veintena de grandes empresas multinacionales que se aprestan a disputarse el mercado mundial. De todos modos, esta rama de la biotecnología agrícola ofrece aun perspectivas muy amplias y variadas a los países en desarrollo. Estos poseen ya o pueden adquirir rápidamente el dominio de las nuevas técnicas con vistas a adaptar por sí mismos su producción agrícola a las condiciones locales, objetivo que, evidentemente, debe realizarse en el país mismo.

En los Estados Unidos, Japón y Europa las perspectivas abiertas en materia de mejoramiento de las plantas despiertan el interés creciente de una veintena de grandes empresas multinacionales que se aprestan a disputarse el mercado mundial. De todos modos, esta rama de la biotecnología agrícola ofrece aun perspectivas muy amplias y variadas a los países en desarrollo. Estos poseen ya o pueden adquirir rápidamente el dominio de las nuevas técnicas con vistas a adaptar por sí mismos su producción agrícola a las condiciones locales, objetivo que, evidentemente, debe realizarse en el país mismo.

Fijación del nitrógeno

No menos prometedora parece otra esfera de la biotecnología a la que la Unesco está contribuyendo activamente. En efecto, la fijación biológica del nitrógeno constituye un programa prioritario de la red mundial de recursos microbiológicos (MIRCEN) de cuya finalidad y actividades se ocupa otro artículo de este número (ver pág. 27).

Los genes fijadores del nitrógeno (Nif) han sido ya hoy identificados y se está eluci-

dando a fondo su estructura. Por otro lado, se ha transmitido esos genes a bacterias no diazotrofas, como *Proteus vulgaris*, *Agrobacterium tumefaciens* y *Escherichia coli*. Nada se opone en principio a la posibilidad de transferirlas a plantas superiores, y hay razones sobradas para afirmar que en este punto van a obtenerse próximamente resultados importantes. De todos modos, la creación de cereales fijadores del nitrógeno es seguramente sólo un objetivo a largo plazo, más propio de la ciencia-ficción que de la ciencia a secas.

En las plantas distintas de las leguminosas los especialistas dirigen hoy su atención a la fijación del nitrógeno mediante bacterias y hongos que se asocian con las raíces bien en su superficie (exomicorizas), bien en sus tejidos formando nódulos diazotrofos (endomicorizas). Los estudios en tal sentido, aun en la fase de la biología molecular y de la ingeniería genética, son de gran interés para la silvicultura tropical, la fijación de las dunas y la lucha contra la desertificación.

Por último, conviene hacer una breve referencia a los estudios que se están realizando en Filipinas y Senegal sobre la fertilización biológica de los arrozales mediante la *Azolla pinnata*. Este helecho acuático fija el nitrógeno gracias a su simbiosis con una cianobacteria diazotrofa del tipo *Anabaena*. Este "abono verde", enterrado en el suelo antes o después de la plantación del arroz, incrementa la cosecha en más del 50% y sus efectos, que persisten durante dos años, equivalen a añadir 60 kilos de abonos nitrogenados por hectárea (véase *El Correo de la Unesco* de diciembre de 1984).

Los aportes de la biotecnología en materia de nuevas fuentes de energía despiertan también hoy gran interés por dos razones, que son, por un lado, el agotamiento previsible de las fuentes de energía fósiles (petróleo y carbón) y, por otro, la crisis mundial de la energía que desde 1973 representa una pesada carga para la economía de todos los países y, en particular, de los del Tercer

La Revolución Verde

Las primeras investigaciones sobre la selección de nuevas variedades de cereales de alto rendimiento se iniciaron después de la Segunda Guerra Mundial. En México y Filipinas, respectivamente, se hizo una selección de distintas variedades de trigo y de arroz, pero las nuevas cepas se propagaron por el mundo durante el decenio de 1960-1970 y fue entonces cuando pudo comprobarse su contribución a un incremento importante del rendimiento agrícola (Borlaugh, 1983).

A partir de mediados de los años 60, tras la introducción de las nuevas semillas en varios países de Asia y de América Latina, la expresión "revolución verde" empezó a designar al conjunto de los esfuerzos realizados para acrecentar la producción agrícola en los países en desarrollo gracias a las nuevas variedades, en particular del trigo y del arroz. El cultivo de estos cereales requería el empleo de biocidas y la utilización del riego, además de abonos químicos y de buenas prácticas

agrícolas. Los cruces entre esas variedades y las razas rústicas locales prometían conseguir cepas aun más productivas y mejor adaptadas. Además de las investigaciones sobre el trigo y el arroz, los estudios sobre selección de variedades de cereales tuvieron por objeto distintos tipos de mijo y de sorgo, el maíz y varias especies de leguminosas.

En poco más de un decenio más de la mitad de las tierras dedicadas al cultivo del trigo y una tercera parte de los arrozales de los países en desarrollo se sembraron con variedades de cereales de alto rendimiento. Cuando a esas tierras se las riega y abona convenientemente y se las somete a tratamientos fitosanitarios, el rendimiento es dos o tres veces superior al de las variedades tradicionales.

Las nuevas variedades de trigo fueron introducidas en la India en 1966 y la producción de trigo se duplicó en 1970-1971, alcanzando 23,4 millones de toneladas. Los estudios para mejorar las variedades de cereales realizados localmente y el empleo más amplio de granos seleccionados dieron como resultado que la producción pasara a 33 millones de toneladas en 1978-1980. Tras ser el

segundo importador de cereales de todo el mundo en 1966, la India se autoabastecía al fin de los años 70. En el Penjab los ingresos agrícolas se habían duplicado en 1972, seis años después de la introducción de las nuevas variedades de cereales.

En determinadas regiones de Asia donde se pudo resolver el problema del agua, la disminución del periodo de maduración de las nuevas variedades de arroz permitió obtener dos o tres cosechas anuales.

La "revolución verde", de la que se beneficiaron en primer lugar los sectores relativamente favorecidos de la agricultura de los países en desarrollo, apenas afectó a los países africanos al sur del Sahara. Sólo Kenia y Zimbabue incrementaron las superficies de tierra cultivadas con nuevas variedades de maíz. Las semillas seleccionadas de trigo y de arroz no fueron introducidas al mismo ritmo que en Asia donde el desarrollo de la irrigación, el abastecimiento suficiente de abonos y el sistema de comercialización de los productos agrícolas desempeñaron un papel importante en el éxito de la "revolución verde". □

Mundo. Un primer logro, ya muy desarrollado en determinados países, es la producción de *biogás* a partir de la celulosa y de las deyecciones humanas y animales. El principio consiste en la digestión anaerobia de la celulosa y de las materias orgánicas nitrogenadas por poblaciones microbianas mixtas, incluidas las bacterias que degradan la celulosa en ácidos orgánicos y las bacterias metanógenas que convierten esos ácidos orgánicos en metano.

A juzgar por la experiencia de la India, el estiércol de diez vacas permite obtener diariamente 1,8 m³ de biogás, lo que equivale a 1,3 litros de gasolina y proporciona energía bastante para cocer los alimentos de una familia de cuatro personas o para mantener en funcionamiento durante 14 horas una lámpara de 100 bujías. Además, los residuos de la fermentación constituyen un abono de excelente calidad (2% de nitrógeno) cuyo valor fertilizante es muy superior al del estiércol original. En la India funcionan ya un millón de digestores sencillos y baratos y más de siete millones en China. Y es de esperar que la producción de biogás en las mismas explotaciones agrícolas se extienda pronto a otras muchas regiones agrícolas cuya población no dispone de otra forma de energía. Por lo demás, desde el punto de vista ecológico resulta sobremaradamente interesante sustituir la leña con el biogás como contribución a la lucha contra la deforestación y la desertificación.

También se está desarrollando la producción de biogás en los países industrializados y, más generalmente, en las grandes ciudades y las regiones agrícolas densamente pobladas. Su principal interés económico consiste en favorecer, gracias a la producción de metano, la descontaminación de las aguas cloacales, de los residuos de la industria agroalimentaria y de los restos animales provenientes de los centros de cría intensiva. Así, varias estaciones urbanas de depuración han conseguido ya en Europa su independencia energética gracias a la producción de biogás.

Gasolina verde

Otra contribución importante de la biotecnología en materia de nuevas fuentes de energía es la producción de *carburantes líquidos* y, en particular, de etanol. Son muchas las materias primas agrícolas que se prestan a la producción de etanol por fermentación, especialmente la sacarosa de la caña de azúcar, de la remolacha y de la melaza, el almidón de los cereales, de la mandioca y de la patata y la inulina del topinambur. La levadura de cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*) y determinadas bacterias aneorobias, como la *Zymomonas mobilis*, convierten los azúcares en etanol con un rendimiento ponderal medio del 47%. Son varias las materias primas que existen en cantidades considerables y baratas. Sin embargo, desde el punto de vista económico hay un inconveniente importante y es que el etanol inhibe los microorganismos productores, de modo que su concentración final en los reactores no puede ser superior al 8 o 10%. De ahí que la destilación del bioetanol y su deshidratación completa, que es indispensable para que pueda emplearse como carburante, sean

operaciones costosas que representan aun el 60% del precio de coste total.

En Brasil se ha desarrollado en gran escala la producción de etanol-carburante a partir de la caña de azúcar que hoy alcanza los 8,4 millones de toneladas, lo que desde el punto de vista energético equivale a 5,6 millones de toneladas de supercarburante. En el aspecto agrícola, el rendimiento de la caña de azúcar es de 4,7 toneladas por hectárea y año.

En la situación actual, el precio de coste del bioetanol es superior al de la gasolina en 380 dólares por tonelada. Pero Brasil se guía por unas motivaciones económicas que son mejorar su balanza de pagos mediante la reducción de las importaciones de petróleo y dar una salida a su producción azucarera, cuya rentabilidad se halla cada vez más comprometida como resultado del hundimiento de los precios del azúcar en el mercado mundial. Razones análogas hacen que crezca el interés por el etanol en otras partes. Así, desde hace varios años se ha comercializado en los Estados Unidos el *biohol*, carburante para automóviles que contiene un 10% de etanol, producido a partir del maíz. Y en Europa occidental el Plan Alcohol tiene por objeto producir 3,4 millones de toneladas de bioetanol. Este proyecto intenta revalorizar los excedentes de trigo y de remolacha azucarera, pero además tiene una motivación ecológica: añadido a la gasolina para automóviles en una proporción del 5%, el etanol sustituye al plomo tetraetil que cuya finalidad es acrecentar el índice de octano pero cuyo empleo va a prohibirse próximamente a causa de su toxicidad.

La gran promesa de las proteínas unicelulares

Un tema vasto e importante que por sí solo merecería ya una larga consideración es el de la producción industrial de *proteínas de organismos unicelulares* (POU). Nos limitaremos aquí a señalar brevemente sus principales perspectivas en lo que atañe al Tercer Mundo. Debe señalarse en primer lugar que el déficit de proteínas constituye, en general, el problema alimentario primordial de los países en desarrollo. En efecto, según las estadísticas de la FAO su consumo medio de proteínas totales por habitante es inferior en un 50% al de los países ricos. La diferencia es aun más acusada en lo que atañe a las proteínas de origen animal cuyo consumo medio es de 13 gramos diarios, es decir sólo el 22% de la de los países ricos, y disminuye hasta 4 gramos diarios en las regiones más pobres de África y de Asia.

Hay una gran variedad de productos y de desechos agrícolas que se presta potencialmente a la producción de POU en los países del Tercer Mundo. Así ocurre, en particular, con las materias lignocelulósicas, que existen en grandes cantidades y a precios muy bajos. Según el Programa de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (PNUMA), los cereales producidos en el mundo proporcionan anualmente 1.700 millones de toneladas de paja, a los que deben añadirse 127 millones de toneladas de bagazo de caña de azúcar y de pulpa de remolacha azucarera. En la situación actual

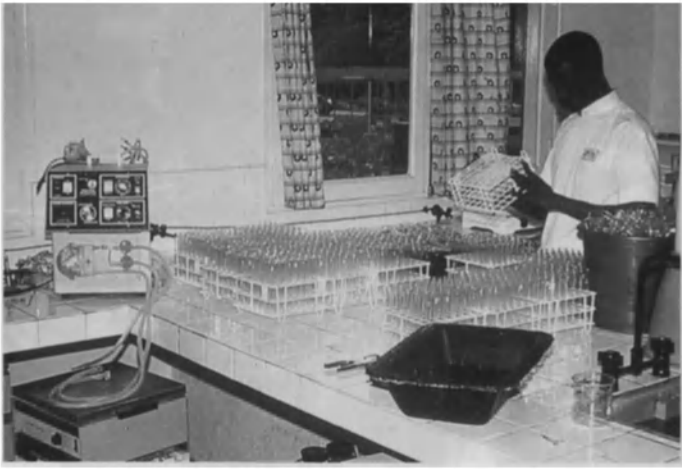
Clonación de la palma de aceite

La palma de aceite (*Elaeis guineensis*) se cultiva en las zonas tropicales húmedas de África, América y Asia sudoriental donde las plantaciones de este árbol ocupan una superficie de varios millones de hectáreas. Los ciclos de selección para obtener variedades de gran rendimiento mediante reproducción sexual son muy largos y sus resultados sólo se manifiestan al cabo de 15 o 20 años. De ahí que en los años 70 se hicieran intentos para perfeccionar la multiplicación in vitro de la palma de aceite mediante el cultivo de tejidos. Desde 1981 se producen en escala semiindustrial



plántulas de esta especie arbórea en la estación experimental de La Mé, en Costa del Marfil (1), utilizándose para ello una técnica de clonación elaborada por investigadores británicos y franceses en los años 70. En las fotos pueden verse algunas fases del proceso de clonación. De la parte superior de un árbol se extraen fragmentos de hojas muy tiernas (2) y se colocan en un medio nutritivo donde se producen callos (3). Tras pasar por un segundo y un tercer medio de cultivo, los callos se transforman en "embrioides" (4), análogos a los embriones que se obtienen por reproducción sexual. Estos embrioides se multiplican espontáneamente, y esta multiplicación se acelera colocándolos en un cuarto medio de cultivo. A continuación se colocan en un quinto medio en el que se convierten en jóvenes plántulas con hojas (5). Los vástagos pasan ahora a un sexto medio en el que surgen las raíces (6), y es en el séptimo y último cultivo donde se obtienen ya jóvenes plantas completas. Se tarda aproximadamente tres meses en obtener un vástago de 12 cm a partir de un embriode.

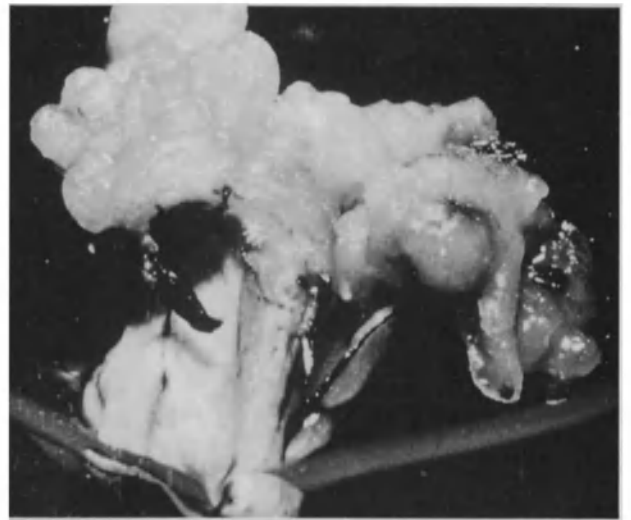
Foto T. Durand-Gassein © IRHO-CIRAD/ORSTOM, Paris



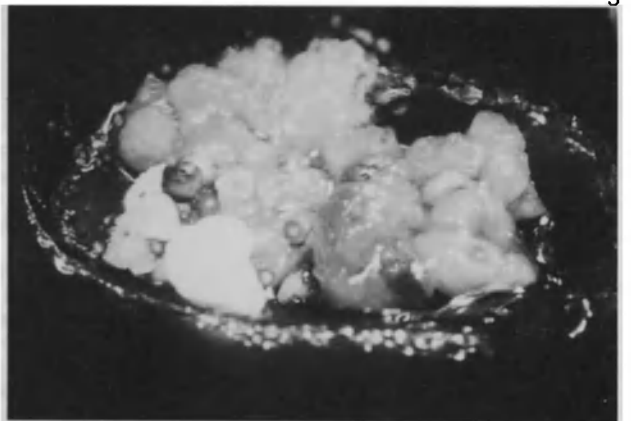
1

2

Foto © IRHO-CIRAD/ORSTOM, Paris



3

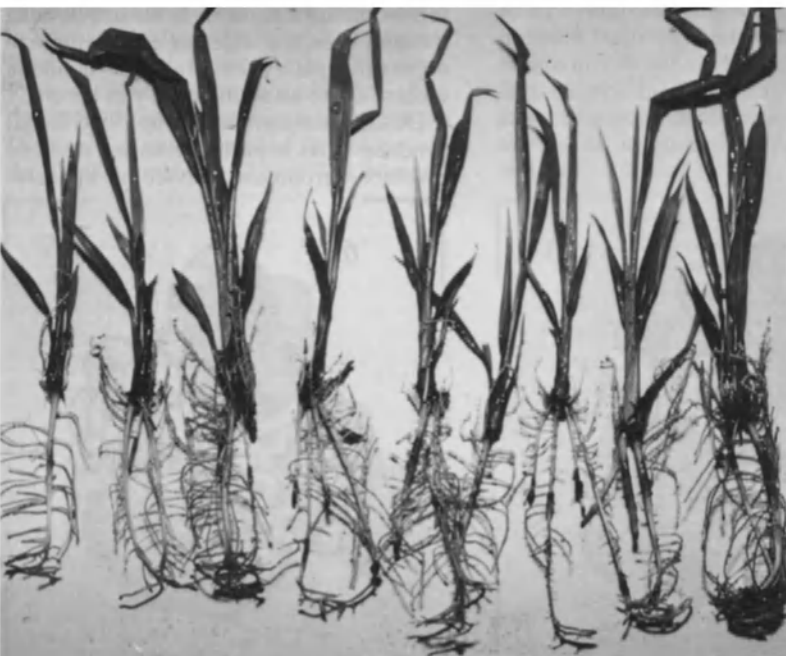


4



5

Fotos C. Panetier © IRHO-CIRAD/ORSTOM, Paris



6



7

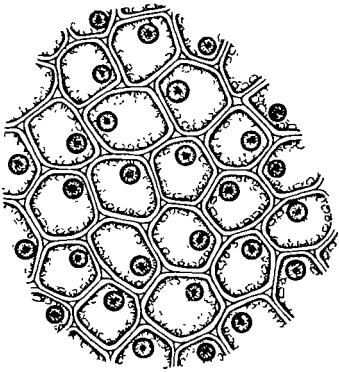
1



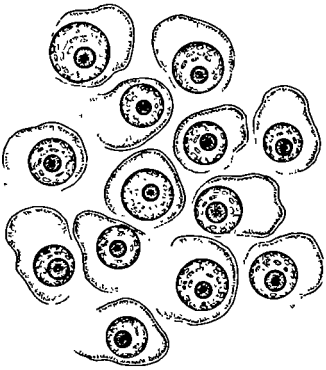
Sorprendentes protoplastos

Las técnicas para la clonación de las plantas han alcanzado un grado tal de refinamiento que una sola célula separada del cuerpo de una planta y cultivada en laboratorio permite generar una nueva planta completa. Los dibujos de esta página ofrecen una representación esquemática del proceso de clonación utilizado por el profesor James A. Shepard y sus colegas de la Universidad de Kansas (EUA) para obtener una tomatera completa a partir de protoplastos (células vivas a las que se ha quitado su envoltura) tomados de células de las hojas de una planta. Se empieza por separar las pequeñas hojas terminales de una tomatera (1). Esas hojas se colocan en una solución que contenga una combinación de enzimas capaces de disolver la envoltura celular para producir protoplastos (2). La solución hace que los protoplastos se aparten de la envoltura celular y se vuelvan esféricos, protegiendo así el protoplasma durante la desintegración de la envoltura (3). A continuación se colocan los protoplastos en un medio de cultivo (4) en el que se dividen y comienzan a sintetizar nuevas envolturas celulares (5). Tras dos semanas de cultivo en estas condiciones, cada protoplasto genera un cúmulo o masa de células indiferenciadas o microcallos (6). Estos, instalados en otro medio, se transforman a su vez en callos de tamaño normal (7) y sus células empiezan a diferenciarse, formando un vástago primordial (8). El vástago se convierte en una pequeña planta con raíces en un tercer medio de cultivo y se planta entonces en tierra (9). En condiciones adecuadas pueden unirse protoplastos procedentes de dos plantas distintas para formar una célula provista de genes de plantas que no pueden cruzarse con los métodos clásicos. Los protoplastos unidos de ciertas especies pueden transformarse en plantas mediante esta técnica llamada de hibridación somática.

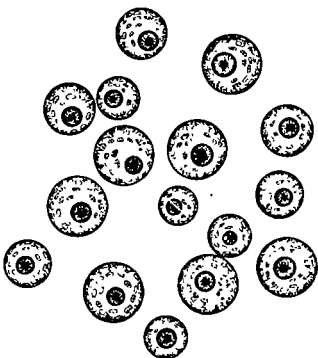
2



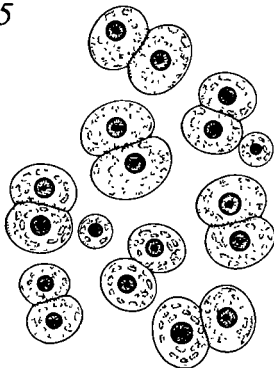
3



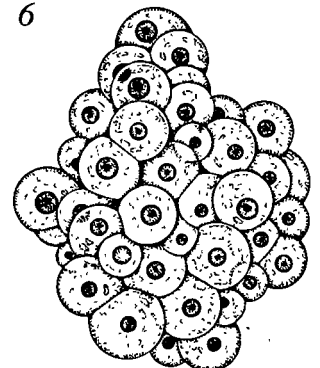
4



5



6



el principal obstáculo para que puedan emplearse en la producción de proteínas es la escasez de cepas microbianas que tengan una actividad lignocelulósica suficiente. De todos modos, gracias a los recientes progresos realizados en laboratorio cabe esperar que próximamente quede superada esta dificultad.

Cuba es hoy el único país en desarrollo que produce POU a partir de una materia prima agrícola. En efecto, el país antillano obtiene anualmente 80.000 toneladas de levaduras forrajeras destinadas a la alimentación animal a partir de la melaza de caña de azúcar. Es probable que este ejemplo lo sigan otros países como la India, donde la melaza existe en abundancia y es barata.

Desde hace tiempo Europa occidental produce POU a partir de varios tipos de residuos agroindustriales como el lacto-



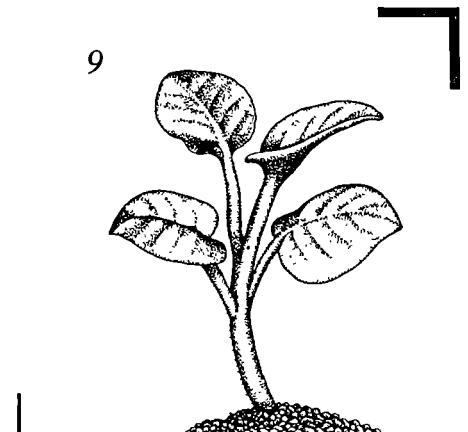
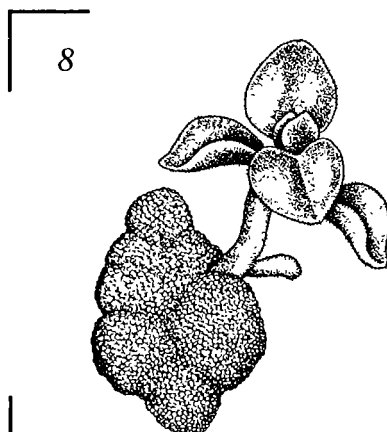
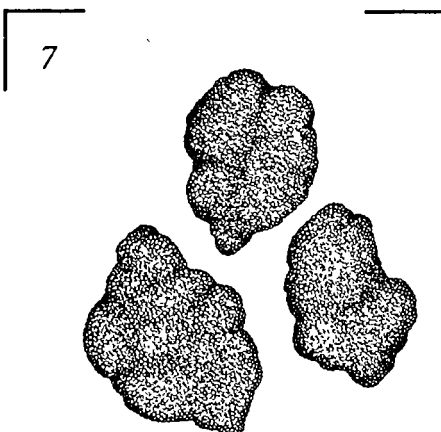
Foto Yves Jeannougin © Rephot, Paris

suero (80.000 toneladas anuales) y los licores sulfúricos de la industria papelera (25.000 toneladas). Como en el caso del biogás, el principal interés económico de este tipo de producción es servir de estímulo y respaldo a la lucha contra la contaminación. Cabe esperar que pronto ocurra lo mismo en numerosos países en desarrollo donde, a causa de la industrialización, es cada vez más urgente proteger el medio ambiente.

Una de las contribuciones más prometedoras de la microbiología al problema de las proteínas alimentarias es su producción industrial a partir del petróleo, del metanol y del gas natural. Esta rama de la biotecnología, nacida en Europa hace 30 años, se ha desarrollado ya en gran escala y hoy existen fábricas con una capacidad de producción de 100.000 toneladas al año. Los procedi-

mientos de cultivo con petróleo se basan en el uso de levaduras (*Candida lipolytica*, *C. tropicalis*) que se desarrollan a partir del gasoil o de parafinas previamente extraídas del petróleo, con un rendimiento ponderal de hasta el 100%. En el caso del metanol, materia prima derivada del gas natural por procedimientos químicos, la biomasa producida es la de las bacterias metilótrofas (*Methylophilus methylotrophus*) y otras especies, cuyo rendimiento ponderal con ese soporte es más o menos del 50%. En cuanto a los procedimientos que utilizan el gas natural, emplean cultivos mixtos de determinadas bacterias metanótrofas (*Pseudomonas methylotropha* o *Methylococcus capsulatus*) asociadas con otras especies cuyo papel es impedir la inhibición de las primeras por la acumulación intermedia del metanol.

El enriquecimiento en proteínas mediante fermentación es una rama de la biotecnología gracias a la cual podrían acrecentar sus existencias de proteínas algunos países en desarrollo. La fermentación microbiana de productos agrícolas como la mandioca, que contiene mucha fécula y relativamente pocas proteínas, da como resultado un producto con un contenido proteínico mucho mayor. El plátano es uno de los frutos que podrían someterse a este proceso, y son varios los países productores de plátanos que está investigando la posibilidad de utilizar de esa forma el alto porcentaje de frutos que se desechan para la exportación y normalmente se pierden. En la foto, recolección de plátanos en la Martinica, Antillas francesas.



Los productos obtenidos a partir del petróleo o del metanol han sido objeto de experimentación animal en vasta escala que ha demostrado de manera concluyente su alto valor nutritivo y su total inocuidad. Hasta ahora, se ha comercializado las POU exclusivamente para la alimentación animal, pero algunos estudios preliminares han mostrado que nada se opone a su utilización para la alimentación humana directa. Tras la primera crisis del petróleo, en 1973, el encarecimiento de las materias primas frenó en Europa occidental la producción de POU a partir del petróleo y del metanol. En cambio, se ha desarrollado considerablemente en la Europa oriental y en la Unión Soviética, donde alcanza actualmente los 3 millones de toneladas.

Estos métodos de biotecnología ofrecen un interés evidente para los países en desarrollo productores de petróleo y de gas natural que disponen de estas materias primas en gran cantidad y a precios muy inferiores a los del mercado mundial. Así, la Organización de Países Arabes Exportadores de Petróleo (OPAEP) proyecta producir en una primera etapa 100.000 toneladas de POU al año a partir del petróleo o del metanol y calcula el mercado potencial de los países del Magreb y del Oriente Cercano en más de un millón de toneladas. Añadamos que esa cantidad de proteínas puede obtenerse a partir del 0,1% solamente del petróleo producido por los países miembros de la OPAEP.

Otra vía prometedora es la del *enriquecimiento en proteínas de los alimentos por fermentación*. La aplicación de los métodos modernos de la biotecnología a este proceso, tradicionalmente practicado en África y el Lejano Oriente, puede significar para los países en desarrollo un incremento importante de sus existencias de proteínas para la alimentación humana y animal.

Los productos de esta fermentación están formados por una mezcla directamente consumible de biomasa microbiana, rica en proteínas, y de materia prima residual cuyo valor nutritivo resulta así incrementado. Este tipo de tecnología relativamente sencilla

presenta la ventaja de poder aplicarse no sólo en la escala de la gran industria sino también en la de unidades de producción pequeñas y poco costosas que puedan instalarse en las comunidades rurales. De ese modo, pueden producirse proteínas alimentarias de gran calidad a partir de numerosas materias primas demasiado costosas o que sólo existen en cantidades demasiado escasas para la producción de POU propiamente dichas.

En todas las regiones tropicales la mandioca es la principal materia prima agrícola que puede utilizarse para el enriquecimiento en proteínas. Cultivada por doquier en África, Asia y América del Sur, su producción mundial es de unos 100 millones de toneladas. Muy rica en almidón pero prácticamente carente de proteínas, la mandioca se utiliza sobre todo como alimento energético de apoyo. Por otro lado, sólo suele cultivarse en pequeñas parcelas, con métodos rudimentarios y escasa productividad, aunque en buenas condiciones el rendimiento puede alcanzar e incluso superar las 50 toneladas por hectárea. Hoy, el único país tropical en el que se ha desarrollado racionalmente el cultivo de la mandioca es Tailandia, que anualmente exporta a la Comunidad Económica Europea 7,5 millones de toneladas de peladuras de mandioca.

A partir de la mandioca seca, que inicialmente contiene un 90% de almidón y menos del 1% de proteínas, se obtiene por fermentación en un medio sólido con un moho amilolítico (*Aspergillus hennebergii*) un producto que contiene un 20% de proteínas bien equilibradas y un 20-25% de azúcares residuales. De este modo el cultivo de la mandioca puede proporcionar casi dos toneladas de proteínas por hectárea, es decir tres veces más que el cultivo de la soja o de otras plantas leguminosas.

También el plátano es una materia prima prometedora. En efecto, en los centros de acopio de los países exportadores se desechan entre el 20 y el 30% de los frutos recolectados, que se pierden porque su contenido de proteínas (1,1%) es demasiado

reducido para la alimentación animal. En varios países de América Central, que anualmente exportan varios millones de toneladas de plátanos, el aprovechamiento de esos desechos mediante fermentación presenta un interés manifiesto. Así, en México, Guatemala y las Antillas se están explorando activamente esas perspectivas nuevas.

Por último, una tercera contribución importante de la biotecnología a la solución del problema mundial de las proteínas alimentarias es la *producción industrial de aminoácidos* para complementar las proteínas vegetales. En efecto, muchas de éstas sólo tienen escaso valor nutritivo por ser deficientes en determinados ácidos aminorados considerados "esenciales" que el hombre y los animales monogástricos (cerdos, rumiantes jóvenes, aves de corral) son incapaces de sintetizar y tienen pues que encontrar en su alimentación. Este es en particular el caso de la L-lisina, el principal aminoácido limitante en las proteínas de los cereales cuya falta es la causa principal de la malnutrición en el Tercer Mundo.

La casi totalidad de los aminoácidos destinados a la complementación se obtienen por fermentación, utilizando cepas de bacterias hiperproductoras, seleccionadas genéticamente.

Aparte de la metionina, que se halla destinada esencialmente a la alimentación animal, la L-lisina es el único ácido aminado que actualmente se produce en grandes cantidades (40.000 toneladas anuales). El déficit mundial de la misma se calcula en 136.000 toneladas para la alimentación humana, especialmente en África y el Lejano Oriente, y en más del triple para la alimentación animal. En la situación actual, el precio de coste de la lisina es aun demasiado alto para poder satisfacer las necesidades del Tercer Mundo y rivalizar con la soja en la alimentación animal. Lo mismo ocurre con los otros aminoácidos cuya producción por fermentación está siendo objeto de estudio, en particular la L-treonina y el L-triptofano, que son, después de la lisina, los principales factores limitantes en las proteínas vegetales. No obstante, cabe esperar que, gracias a la ingeniería genética y a las amplificaciones de genes, se lleven próximamente a cabo progresos importantes. □

JACQUES C. SENEZ, biólogo y profesor universitario francés, ha sido secretario general de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO), patrocinada por la Unesco, y es miembro consultor del Grupo Consultivo sobre Proteínas de las Naciones Unidas. Ha sido también secretario general de la Unión Internacional de Sociedades Microbiológicas y es autor de numerosos estudios sobre microbiología y bioquímica bacteriana. A fines de los años 60 inició la producción de proteína unicelular a partir del petróleo.

Gran número de países en desarrollo están llevando a cabo programas para aplicar los métodos de la biotecnología al desarrollo. A la izquierda, cubas de fermentación en una fábrica cubana que produce proteínas unicelulares comestibles a partir de la melaza. La fábrica obtiene diariamente unas 40 toneladas de proteínas que se destinan a la alimentación animal.

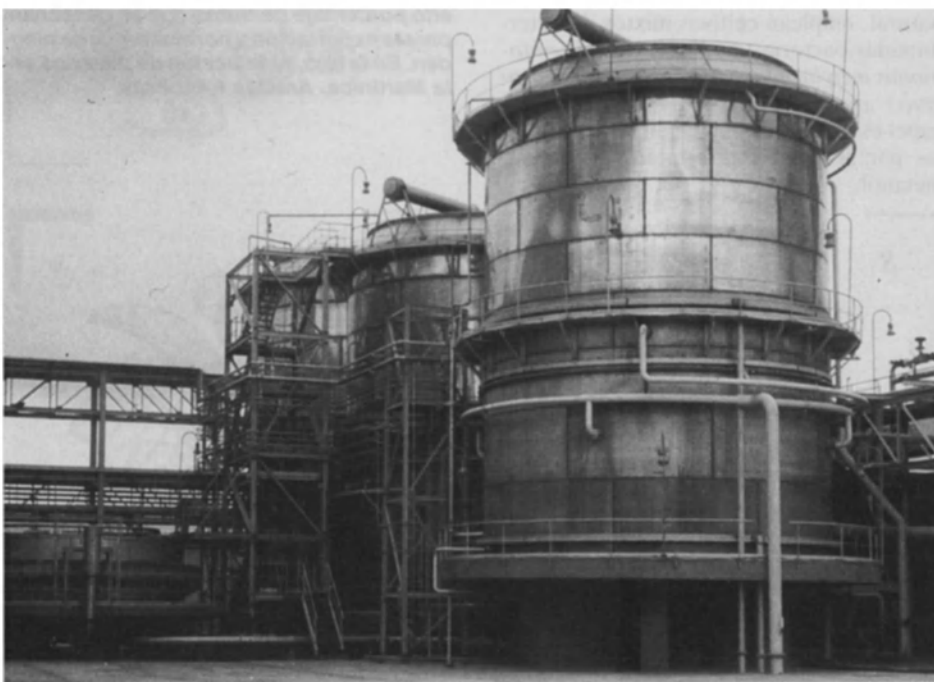


Foto © Spachim, París

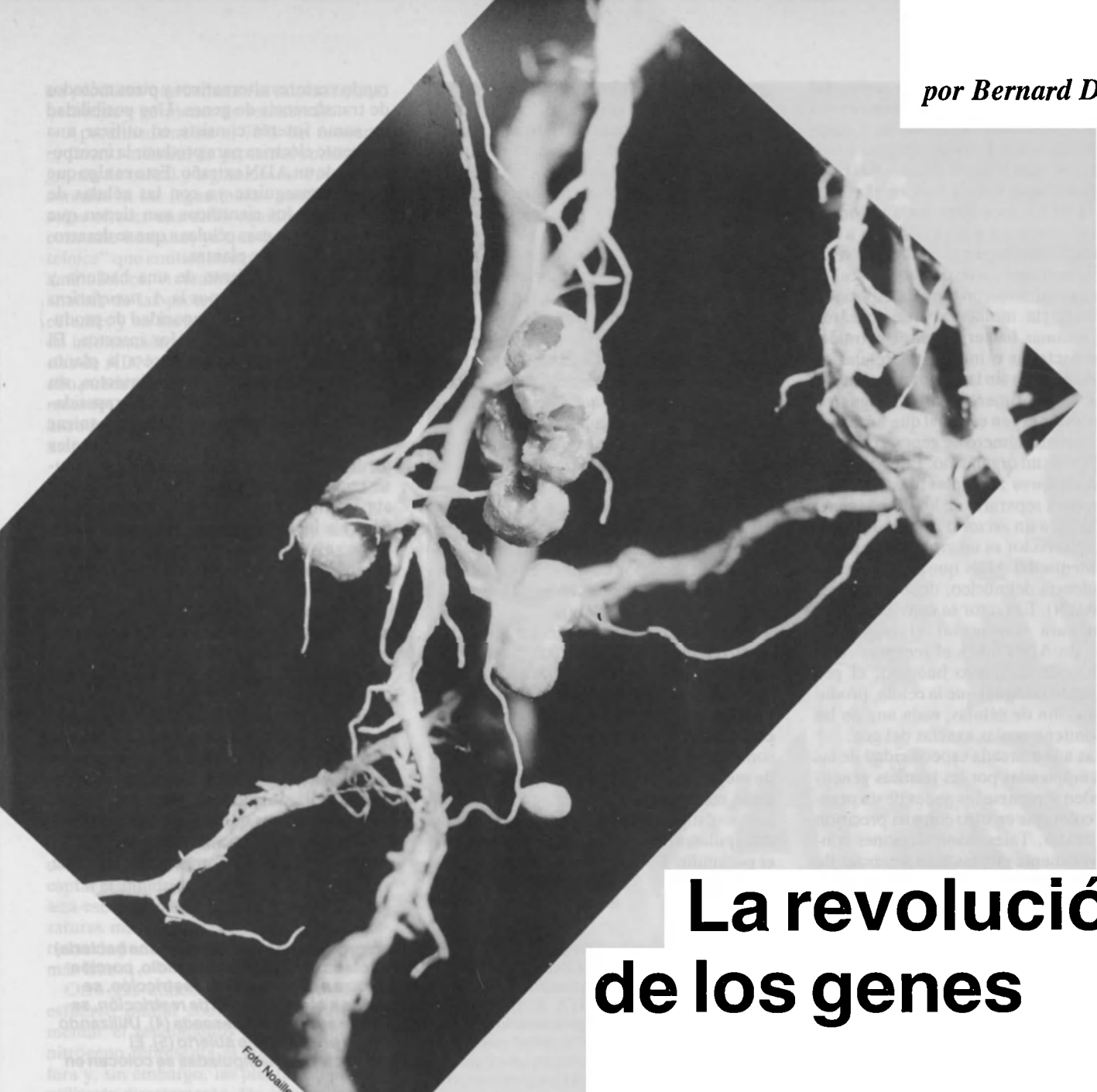


Foto Noailles © Jacana, Paris

En la foto de arriba se observan claramente las excrecencias o nódulos que se forman en las raíces de las leguminosas cuando las infectan determinadas bacterias. Estas, las llamadas rhizobia o rizo-bacterias, toman el nitrógeno del aire y lo convierten en elementos que las plantas pueden asimilar. Uno de los objetivos esenciales de la biotecnología consiste en extender este proceso de fijación del nitrógeno a otras plantas agrícolas incorporando en su patrimonio genético genes fijadores del nitrógeno. Pero el intento está demostrando ser sobremanera difícil.

La revolución de los genes

DADO que la primera Revolución Verde de hace veinte años se caracteriza por una mezcla de aspectos positivos y negativos (véase el recuadro de la pág 7)), no es de extrañar que la aplicación de las técnicas genéticas actuales a la agricultura del futuro suscite sentimientos tan contradictorios como el optimismo y el temor. Y esas reacciones divergentes son naturales si se piensa que las novedades de ese tipo de ingeniería —centradas en torno al ADN recombinado— están llamadas a tener efectos aun más trascendentes que las técnicas empleadas en aquella primera revolución. No cabe la menor duda de que la nueva magia tecnológica podría transformar la agricultura en el mundo entero. Pero, al mismo tiempo, la precisión de que esas técnicas hacen gala cuando se trata de modificar las células vivas no puede sino entrañar una severa advertencia para nuestra prudencia y cordura.

En el centro de la cuestión se halla el ácido desoxirribonucleico (ADN), es decir el factor que contiene en forma cifrada las instrucciones hereditarias causantes del comportamiento de las células y de las plan-

tas, animales o microbios de que forman parte. La molécula de ADN, astronómicamente larga, puede subdividirse en regiones —genes— de las que dependen los caracteres particulares. Se denomina ADN recombinado al producto de la combinación artificial de dos elementos de ADN provenientes de organismos distintos.

En esta clase de manipulación genética se basa el extraordinario desarrollo experimentado por la biotecnología en los últimos diez años: el aprovechamiento de los microbios y otros tipos de células para elaborar productos farmacéuticos y otras sustancias útiles y facilitar los procesos industriales. Ciertamente, tales actividades eran posibles antes. Algunas, como fermentar azúcar para elaborar bebidas alcohólicas, son casi tan viejas como el hombre; otras, como la primera producción en masa de antibióticos, comenzaron algunos años antes, en este mismo siglo. Pero todas ellas se basaban en los organismos tal como se presentan en la naturaleza —si bien utilizando otros métodos, igualmente naturales, para seleccionar cepas de gran rendimiento.

Pero la aparición del ADN recombinado

ha alterado profundamente las reglas del juego. Gracias a él se ha incrementado grandemente nuestra capacidad para adaptar organismos con fines de utilidad general. Y en el futuro la gama de nuestras posibilidades será aun mucho más amplia.

A fines de los años 70 se produjeron los avances decisivos que iban a conducir a esta revolución histórica en la elaboración de plantas y microbios nuevos. Los descubrimientos capitales fueron obra de especialistas en biología molecular que lograron injertar en unas bacterias genes extraídos de otras bacterias o incluso de células de plantas o animales sin la menor relación con aquellos. En primer lugar averiguaron como localizar el gen especial que buscaban entre el enorme número de genes existentes en el ADN de un organismo. Luego utilizaron catalizadores naturales, las llamadas enzimas, para separarlo de los demás genes y "sujetarlo" a un *vector* o *portador*. Por lo general este vector es un virus o un plasmidio (elemento del ADN que reacciona con independencia del núcleo, depósito principal del ADN). El vector se convierte en un vehículo para transportar el fragmento escogido de ADN hasta el receptor. Una vez dentro de su nuevo huésped, el gen extraño se divide igual que la célula, produciendo un clon de células, cada una de las cuales contiene copias exactas del gen.

Gracias a la marcada especificidad de las enzimas empleadas por las técnicas genéticas, pueden separarse los genes de un organismo y colocarse en otro con una precisión extraordinaria. Tales manipulaciones contrastan vivamente con las transferencias de

genes que se producen en la naturaleza, mucho menos previsible. Además, posibilitan la unión de genes que normalmente no se juntarían en condiciones naturales. Gracias a esta movilización de elementos de ADN, los especialistas en ingeniería genética están empezando a crear microbios de "raza" con vistas a una amplia gama de nuevas finalidades en el campo de la agricultura, la medicina y la industria.

Si bien en lo que toca a las plantas la manipulación genética tarda más en perfeccionarse, hoy están en curso de elaboración varias técnicas al respecto. La que hasta ahora ha dado mejores resultados se basa en la *Agrobacterium tumefaciens*, una bacteria que produce agallas de cuello en muchas plantas fanerógamas, pues contiene un plasmidio oncogénico o inductor de tumores (Ti o *tumor inducing*) que origina un crecimiento desordenado que se presenta en forma de feas agallas. Los expertos en ingeniería genética saben ahora como suprimir el gen inductor de tumores del plasmidio y utilizarlo como vector para introducir nuevos genes en las plantas.

El método presenta, sin embargo, un inconveniente grave: mientras la *Agrobacterium tumefaciens* infecta las patatas, los tomates y muchos árboles de los bosques, no ataca normalmente a las plantas monocotiledóneas tales como los cereales, que son un objetivo primordial para las tareas de mejoramiento genético. No obstante, se están consiguiendo avances, y a juzgar por las investigaciones recientes es posible manipular, en particular, el arroz utilizando el plasmidio Ti. Asimismo, se están elabo-

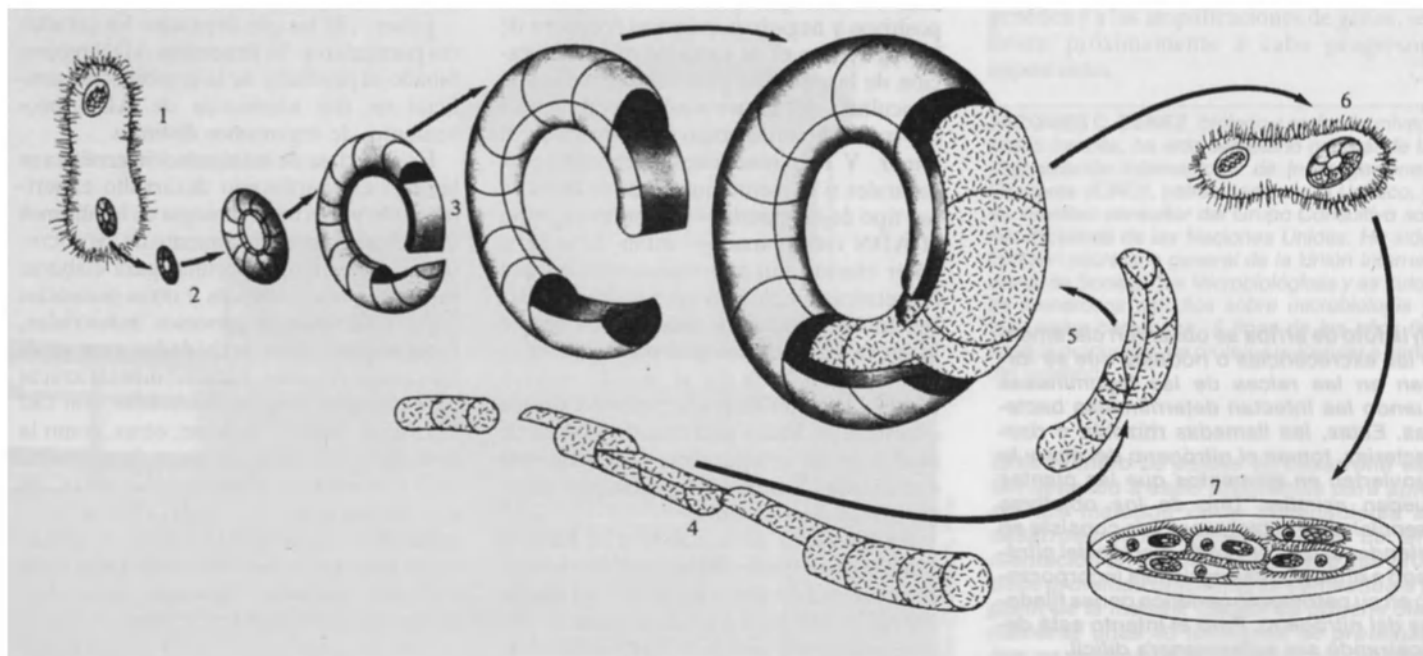
rando vectores alternativos y otros métodos de transferencia de genes. Una posibilidad de sumo interés consiste en utilizar una corriente eléctrica para producir la incorporación de un ADN extraño. Esto es algo que puede conseguirse ya con las células de maíz, pero los científicos aun tienen que saber inducir a esas células a que se desarrollen hasta formar plantas.

Un gen proveniente de una bacteria y transferido al tabaco por la *A. tumefaciens* brinda a esta planta la capacidad de producir una toxina letal para los insectos. El insecticida así producido hace a la planta resistente a los ataques de los insectos, sin que, claro está, haya que aplicarlo repetidamente. Ciertas plantas pueden organizar defensas contra las infecciones virales mediante un proceso análogo al de la inmunización de los animales, lo que viene a abrir un nuevo camino a la alteración genética. La incorporación de un gen viral al tabaco ayuda a proteger esta planta contra la inoculación subsiguiente del virus entero.

Otro de los hallazgos concierne a las malas hierbas que en la mayoría de los países plantean graves problemas a la agricultura. Esas malas hierbas pueden combatirse con herbicidas seleccionados, pero éstos suelen también perjudicar el crecimiento de las cosechas. Sin embargo, hoy es posible introducir genes de resistencia en el tabaco y en la petunia. Esa manipulación tiene como resultado que en la planta se sintetizan unas enzimas que ya no son sensibles a la acción inhibitoria del herbicida. Las empresas comerciales proyectan la venta de

El plasmidio manipulador

El esquema muestra cómo se "manipula" un microorganismo (en este caso, una bacteria) para que sintetice una substancia dada. (1) Una bacteria contiene un plasmidio, porción de ADN circular. Ese plasmidio es aislado (2) y, gracias a una enzima de restricción, se abre en un lugar preciso (3). Al mismo tiempo, gracias a otras enzimas de restricción, se aísla del ADN de otro organismo el gen que sintetiza la substancia deseada (4). Utilizando igualmente enzimas, se "injerta" ese gen al plasmidio previamente abierto (5). El plasmidio es reintroducido en una bacteria (6). Las bacterias manipuladas se colocan en cultivo y sintetizan la substancia deseada (7).



un producto que contiene al mismo tiempo herbicida y gérmenes de resistencia.

Aproximadamente el 70% del consumo ordinario mundial de proteínas consiste en granos de cereal y leguminosas. Pero ni los cereales ni las leguminosas pueden por sí solos ofrecer una dieta equilibrada para el consumo humano, ya que la "reserva proteínica" que contienen carece de uno o más aminoácidos. Actualmente, además de los análisis de las proteínas contenidas en los cereales y en las leguminosas, disponemos de información detallada sobre las secuencias de ADN que los caracterizan. De todo ello puede resultar la elaboración de nuevos métodos para alterar esas secuencias o para introducir nuevos genes que den una gama más equilibrada de aminoácidos.

Las reservas de alimentos y de energía en todo el mundo descansan en la capacidad de las plantas verdes para convertir el anhídrido carbónico de la atmósfera en hidratos de carbono, grasas y proteínas mediante la luz del sol. Por desgracia, el mecanismo gracias al cual consumen las plantas el anhídrido carbónico resulta ineficaz en las que, como el trigo, la cebada o la patata, se cultivan en climas templados. El oxígeno atmosférico se interfiere en la acción de la primera enzima que actúa en la asimilación del anhídrido carbónico. Hoy se está haciendo un esfuerzo considerable con vistas a modificar la secuencia de ADN del gen propio de esa enzima, a fin de impedir la acción nociva del oxígeno. Otros investigadores tratan de introducir en plantas de zonas templadas ciertos genes tomados del maíz, que está dotado de un mecanismo más eficaz para captar el anhídrido carbónico. En la naturaleza ese mecanismo funciona sólo a temperaturas más altas, pero se abriga la esperanza de poder ponerlo en marcha en zonas más frías.

Otro gas atmosférico es objeto de un esfuerzo similar como medio para incrementar el rendimiento de las plantas. El nitrógeno representa el 80% de la atmósfera y, sin embargo, las plantas no pueden utilizarlo directamente. De ahí que la agricultura intensiva de nuestros días tenga tanta necesidad de fertilizantes —nitrato, amoníaco, urea— sintetizados por la industria bioquímica. La fijación natural del nitrógeno depende en parte de la *Rhizobia* o rizobacterias, bacterias que viven simbióticamente con leguminosas tales como los guisantes y los frijoles o con el trébol. Las bacterias se nutren del azúcar producido por la planta y se mantienen en ésta formando nódulos característicos. Allí convierten directamente el nitrógeno en amoníaco, lo que a su vez origina la sintetización de las proteínas vegetales. Los especialistas en biología molecular han aislado y catalogado ya varios de los genes necesarios para la fijación del nitrógeno. Sin embargo, han descubierto que en ésta intervienen muchos más genes bacterianos y vegetales que los que habían imaginado en un principio. Ello hace que sea tanto más difícil manipularlos. Habrán de pasar pues varios años antes de que podamos disfrutar de los ahorros en dinero y en energía que se producirán cuando sea posible dotar a plantas como el trigo o el maíz de capacidad para fijar su propio nitrógeno.

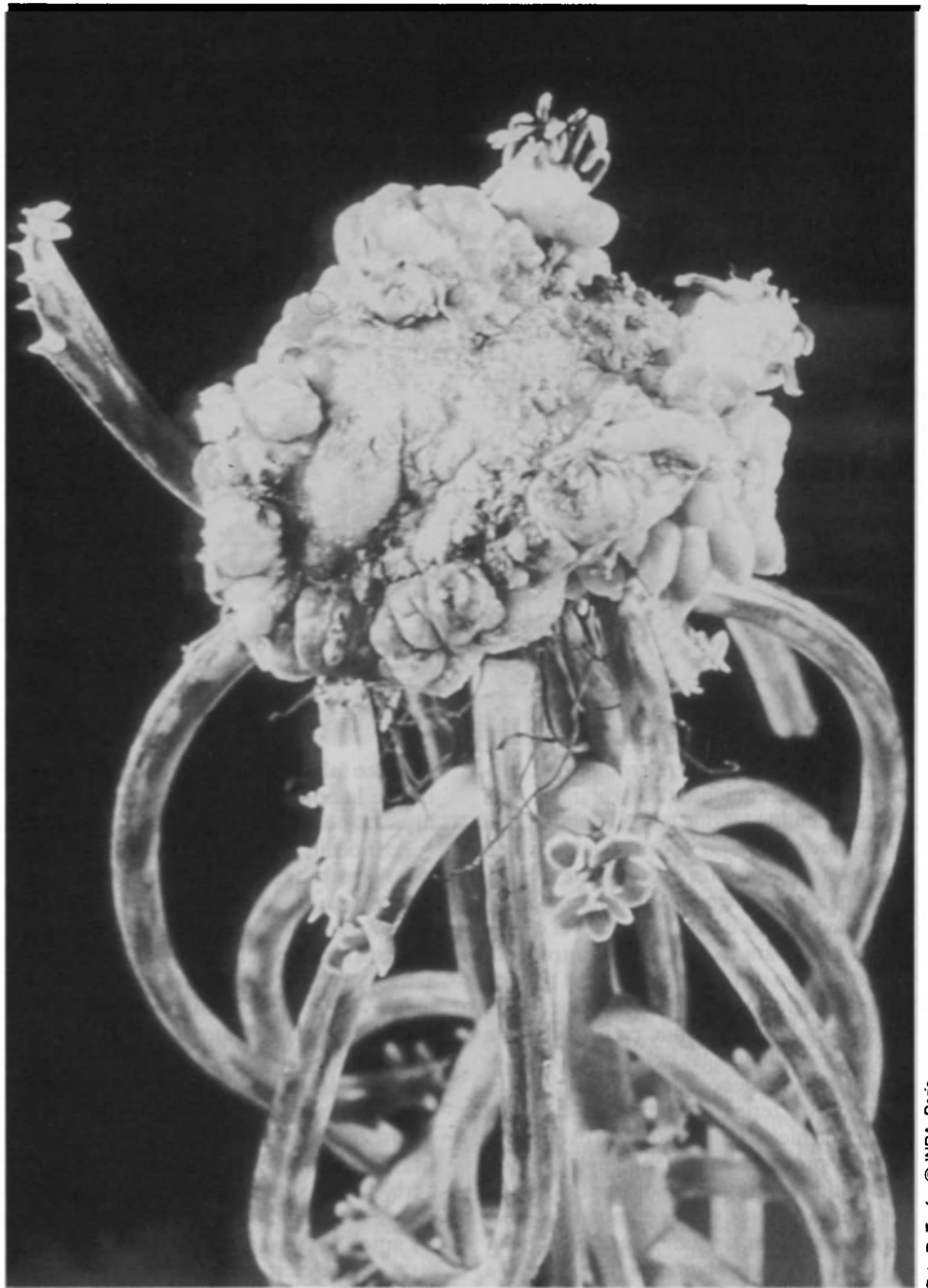


Foto D. Tepfer © INRA, Paris

Todas las plantas sufren de las sequías y de las altas temperaturas, aunque las toleren mejor aquellas variedades que se han desarrollado en condiciones ambientales de ese tipo. Por otro lado, los suelos resecos suelen contener grandes cantidades de sales y de elementos metálicos, tóxicos para el crecimiento de las plantas. Uno de los más fervientes deseos de los expertos en ingeniería genética es producir plantas resistentes a tan duras condiciones, pero no es probable que lo consigan en un futuro próximo. Antes de que logren identificar las secuencias de ADN adecuadas para la transferencia entre plantas tendrán que conocer mejor las distintas formas en que las plantas reaccionan a su medio ambiente. Otro problema puede derivarse de la participación de varios genes diferentes, como en el caso de la fijación del nitrógeno. Por ejemplo, la resistencia a la sequía, que depende de la reducción de la superficie de las hojas, podría producirse por interacción de múltiples genes.

La ingeniería genética se interesa tam-

Una esfera de gran importancia en la biotecnología es la relativa a las técnicas para aislar genes de una planta e introducirlos en otra con el fin de dotar a la planta receptora de nuevos caracteres como la resistencia a las plagas o un mayor contenido de proteínas. Una de esas prometedoras técnicas de transferencia es la que utiliza plasmidios (pequeños fragmentos de material genético) de una bacteria que genera proliferaciones tumorales al infectar ciertas plantas (arriba). Pueden eliminarse los genes oncogénicos del plasmidio y después utilizar éste como vehículo para introducir nuevos genes "útiles" en la planta. Con este método se ha conseguido ya transferir genes de proteína de frijol al girasol.



El empleo de las técnicas de ingeniería genética para la producción de alimentos ofrece muchas ventajas potenciales. Pero, al mismo tiempo, no dejan de plantearse ciertos interrogantes en cuanto a los riesgos que entraña la propagación de organismos vivos genéticamente modificados en el entorno. Un caso que originó amplio debate y general inquietud en los Estados Unidos fue el de la elaboración y utilización de bacterias genéticamente modificadas para proteger las plantas de fresa de las heladas. En la foto, la hoja de la izquierda ha sido tratada con esas bacterias. La de la derecha, no tratada, se heló al sumergirla en agua muy fría.

resultarían difícilmente controlables de producirse una manipulación errónea. Aun así, tranquiliza constatar que, desde hace más o menos diez años que se utiliza esta técnica, no se ha podido achacar ningún accidente sanitario o ecológico a organismos obtenidos mediante el ADN recombinado. Por lo demás, los biólogos tienen hoy la convicción de que un microbio dotado artificialmente de un nuevo fragmento de ADN no difiere esencialmente de otro que haya recibido el mismo fragmento de ADN mediante los mecanismos naturales de transferencia genética. La mayoría de los especialistas afirman incluso que las manipulaciones del ADN recombinado entrañan en lo esencial menos riesgos ya que ofrecen unas garantías muy superiores de precisión y de selectividad. En todo caso, las manipulaciones en laboratorio que se teme puedan originar mutaciones peligrosas quedan automáticamente excluidas.

Numerosos investigadores están convencidos de que los experimentos con el ADN recombinado deberían realizarse siempre en un medio controlado *in vitro* (invernaderos, por ejemplo). Pero tales "microcosmos" no pueden reproducir nunca la complejidad de la biosfera ni, por tanto, proporcionar una información concluyente sobre el grado de inocuidad de un organismo o sobre su comportamiento en un medio natural. Los hombres de ciencia se pronuncian hoy en su mayoría en favor de un enfoque gradual, verificándose progresivamente las hipótesis más verosímiles mediante el método experimental hasta conseguir un máximo de garantías sobre su comportamiento real.

Hay un último argumento que debiera acabar de convencer a quienes, sobre todo en los Estados Unidos, afirman que *en ningún caso* debieran liberarse organismos portadores de ADN recombinado para luchar contra los parásitos, por ejemplo. En efecto, actualmente se pierde una tercera parte de la producción mundial a causa de las infecciones y las plagas. Sería pues una temeridad no utilizar una tecnología ecológicamente fiable gracias a la cual podría conseguirse una reducción, por modesta que fuera, de tan gigantesco despilfarro. □

BERNARD DIXON, divulgador y consultor científico británico, es director para Europa de la revista *The Scientist* y de 1969 a 1979 lo fue de la revista británica *The New Scientist*. Entre sus obras destacan *Magnificent Microbes* (1976, *Magníficos microbios*) y *Ideas of Science, Man and Medicine* (1986, *Ideas sobre la ciencia, el hombre y la medicina*).

bién vivamente por los microbios que contribuyen al crecimiento de las plantas. Una de las posibilidades que hoy se estudian es la de producir y liberar las rizobacterias que fijan el nitrógeno más eficazmente que las cepas naturales. Se cultivan asimismo otras bacterias capaces de asociarse con el trigo y con el maíz para la fijación del nitrógeno. Un tercer tipo de investigaciones se basa en la constatación por los especialistas de la Universidad de California, en Berkeley, de que la sensibilidad a las heladas de las plantas de fresa se debe a la presencia en sus hojas de bacterias que atraen y fijan los cristales de hielo. Este fenómeno es causado por una proteína bacteriana cuyo gen han conseguido suprimir los biólogos californianos, por lo esperan poder eliminar los efectos sobremanera perjudiciales de las heladas tratando a las plantas de fresa con esa bacteria "antihielo" que debería proliferar en detrimento de la flora natural.

Los especialistas en ingeniería genética abrigan también fundadas esperanzas de mejorar los insecticidas "biológicos", esos microbios que atacan a los parásitos sin contaminar el entorno como sus equivalentes químicos. Por ejemplo, desde hace años se utiliza el *Bacillus thuringiensis* para combatir las especies nocivas, pero gracias al ADN recombinado puede hoy incrementarse el rendimiento de esta y otras bacterias y virus similares. Buen ejemplo de ello es el de una oruga del pino que asola los pinares del norte de la Gran Bretaña. En otras regiones del país la proliferación de las orugas es controlada naturalmente por un baculovirus que las infecta. Hoy se cultiva ese virus para fortalecer su acción deletérea antes de liberarlo en los pinares. Se han realizado ya experimentos con un virus no modificado pero provisto de un marcador en una región no cifrada genéticamente del ADN a fin de estudiar *in situ* la propagación del virus y su resistencia. Si toda sale bien, el virus se hallará entonces dotado de un gen que le permitirá sintetizar una toxina insecticida.

No hace falta insistir en las perspectivas que ofrece la aplicación de tales técnicas a los insectos nocivos en otros muchos países.

La inocuidad de las actividades industriales o experimentales que utilizan los productos de la ingeniería genética se basa en la noción de control. Las instalaciones se clasifican en función del grado de riesgo de esas actividades. Pero, como es natural, el problema se complica cuando se fabrican microbios o plantas que van a liberarse en el medio natural. ¿No existe el riesgo, por ejemplo, de que se liberen accidentalmente malas hierbas "mejoradas" que luego será muy difícil suprimir? Una vegetación parasitaria resistente a la vez a la sequía, a los herbicidas y al hielo podría invadir rápidamente grandes superficies de suelos agrícolas antes de conseguir eliminarla. La proliferación de ciertas algas en Asia y de los jacintos de agua en América han puesto de manifiesto la envergadura de los problemas que pueden plantear las malas hierbas, incluso las naturales.

En cambio, el riesgo de que degeneren en malas hierbas las plantas obtenidas con técnicas de ingeniería genética es bastante remoto ya que las especies cultivadas, mucho menos resistentes que las plantas silvestres, necesitan ser protegidas permanentemente. Y dada la extrema complejidad del mecanismo de selección de los genes vegetales tampoco es probable que se produzcan accidentalmente variedades inadecuadas. Además, siempre se podría destruir con el fuego o por otros medios las plantas "artificiales", inicialmente introducidas en una superficie limitada, en caso de plantear algún problema. De todos modos, conviene poner el máximo cuidado en los experimentos sobre el terreno con plantas nuevas, particularmente si se trata de plantas que pueden dar híbridos por cruce con otras especies silvestres.

La prudencia es aun más de rigor en el caso de los cultivos de microorganismos, que a causa de su número astronómico



Foto © Hitachi Ltd., Tokio

Hortalizas industriales

Las “agrofactorías” futuristas del Japón

por Koichibara Hiroshi

LA aplicación de tecnología avanzada al cultivo de hortalizas está a punto de desencadenar una nueva revolución agrícola en el Japón, donde algunas grandes empresas ofrecen ya “factorías” completamente automatizadas en las que se cultivan hortalizas en un medio ambiente artificial controlado con computadora. Por el empleo de la automatización y de la tecnología avanzada estas instalaciones se asemejan a las fábricas de automóviles o de material electrónico, pero, en vez de fabricar automóviles o grabadoras de vídeo, sus cadenas de producción en masa cultivan legumbres frescas, independientemente del clima o de la época de siembra.

A decir verdad, la tecnología actual del cultivo industrializado de hortalizas o legumbres no se basa en la biotecnología sino en la aplicación de las técnicas de administración de la producción industrial a la ingeniería agrícola tradicional. El objetivo es utilizar entornos controlados artificialmente para cultivar rápida y eficazmente las plantas, en vez de mejorar la adaptación de éstas a las condiciones naturales. Esas ideas ya se han aplicado a la avicultura, a la producción de huevos y hasta a la de “foie-gras”. Así, las explotaciones industrializadas que utilizan estas nuevas técnicas tienen una marcada repercusión en la agricultura tradicional ya que permiten planificar los cultivos, sin tener en cuenta las condiciones meteorológicas, la época de siembra, el clima, la calidad del suelo, etc.

El elemento esencial de esta innovación es el cultivo hidropónico, es decir el cultivo de plantas en soluciones nutritivas de sales

La luz, la temperatura y la humedad se controlan mediante computadora en esta “agrofactoría” de hortalizas situada en un suburbio de Tokio. El elevado consumo de electricidad representa un grave inconveniente.

orgánicas. Estos huertos industrializados disponen de aire acondicionado y de lámparas de sodio de alta presión que proporcionan iluminación las 24 horas del día. Se controlan con computadora la densidad del bióxido de carbono, el oxígeno, la temperatura y la humedad a fin de mantener un medio ambiente óptimo para el cultivo de las plantas que no esté sujeto a condiciones naturales variables como, por ejemplo, el clima y el suelo.

Los equipos técnicos que se emplean en este proceso no son nuevos. Pueden ya conseguirse fácilmente en las empresas que fabrican artículos electrodomésticos, y quizás sea ésta la razón de que las grandes firmas japonesas que fabrican esos bienes trabajan mucho en este campo. También hay empresas en Dinamarca, Estados Unidos y Austria que están ensayando “factorías” de legumbres, pero hasta hoy los japoneses parecen ser los más avanzados en la materia.

En 1985 se expuso una “factoría” para el cultivo de tomates en el pabellón de la feria internacional “Tsukuba Expo. 85” que se celebró en el Japón (véase el número de marzo de 1985 de *El Correo de la Unesco*). Ello constituyó un gran éxito para el sistema de cultivo hidropónico elaborado, tras años

de investigación, por el agrónomo japonés Nozawa Shigeo. El crecimiento de las plantas se aceleraba mediante una solución nutritiva de sales inorgánicas que sustituía el suelo y un medio ambiente controlado artificialmente. La “factoría” produjo así más de 13.000 tomates durante los seis meses que duró la feria.

Daiei, la principal cadena de supermercados del Japón, ha instalado una de estas “agrofactorías” junto a su sucursal del suburbio de Fanabashi, en Tokio. Esta “agrofactoría” de tipo experimental, construida en cooperación con la compañía Hitachi para cultivar lechugas que se venden en el supermercado adyacente, quizá sea la primera instalación comercial en todo el mundo que utilice una tecnología automatizada completa de cultivo hidropónico. El sistema permite producir unas 150 lechugas y otras hortalizas diariamente (unas 47.000 al año) en una superficie que alcanza apenas los 66 metros cuadrados. Cultivada a partir de semillas, la lechuga está lista para ser recolectada en sólo cinco semanas, es decir 3,5 veces más rápidamente que en el caso de las hortalizas cultivadas con los métodos tradicionales.

En esta “agrofactoría” futurista se sustituye el sol con un sistema de iluminación artificial que funciona las 24 horas del día, el suelo con una solución de sales inorgánicas y el agricultor con una computadora. El producto es apetitoso y no se ve afectado por pesticidas ni herbicidas, por lo que es objeto de gran demanda, a pesar de su precio, el doble del de la lechuga cultivada con métodos tradicionales.

La foto muestra un aspecto de la factoría experimental de hortalizas instalada en el pabellón japonés de la Expo 85, que se celebró ese año en Tsukuba (Japón). Las bandejas donde se habían plantado las lechugas se desplazaban mediante una cinta transportadora, de modo que todas las plantas recibían la misma cantidad de calor y de luz. Las plantas crecían en una solución nutritiva de sales inorgánicas mediante el sistema de cultivo hidropónico. Gracias a la iluminación artificial continua, a la atmósfera rica en bióxido de carbono y a la temperatura constante las lechugas maduraban en 20 días, es decir 4 o 5 veces más rápidamente que con los métodos tradicionales.

En el laboratorio de Amagasaki de la Empresa Mitsubishi Electric un prototipo de línea de montaje para la producción industrializada de alimentos ha permitido cultivar plantas de lechuga haciéndolas pasar de 2 a 130 gramos en 15 días, es decir seis veces más rápidamente que en el crecimiento natural. Utilizando lámparas fluorescentes especialmente diseñadas, el coeficiente fotosintético es al parecer mejor que el del sol. Se colocan las plántulas que se han reproducido por clonación a partir de tejidos de plantas maduras en un extremo de la correa transportadora y se desplazan a razón de 20 centímetros diarios.

En marzo de 1986 los Ferrocarriles Nacionales de Japón construyeron dos "factorías" experimentales de hortalizas, cada una de ellas con 50 metros cuadrados de superficie y un costo de 60.000 dólares. Desde mayo cada factoría ha producido 120

lechugas diarias. Se están realizando experimentos en torno al cultivo de otras hortalizas como tomates, coles, espárragos, melones y pimientos. En el caso de los Ferrocarriles Japoneses, la energía eléctrica suministrada por sus propias instalaciones puede utilizarse de manera eficiente durante la noche cuando la demanda es escasa, así como aprovecharse los espacios libres bajo las líneas elevadas o en los túneles abandonados.

La iluminación artificial y la computadora no son esenciales para el cultivo industrial. También pueden instalarse "factorías" de producción de alimentos con técnicas hidropónicas en los países en desarrollo donde ese tipo de instalación es más necesaria. Por ejemplo, la empresa Matsushita Electric ha construido una "factoría" de producción de hortalizas en las Maldivas, con un nivel mínimo de automatiza-

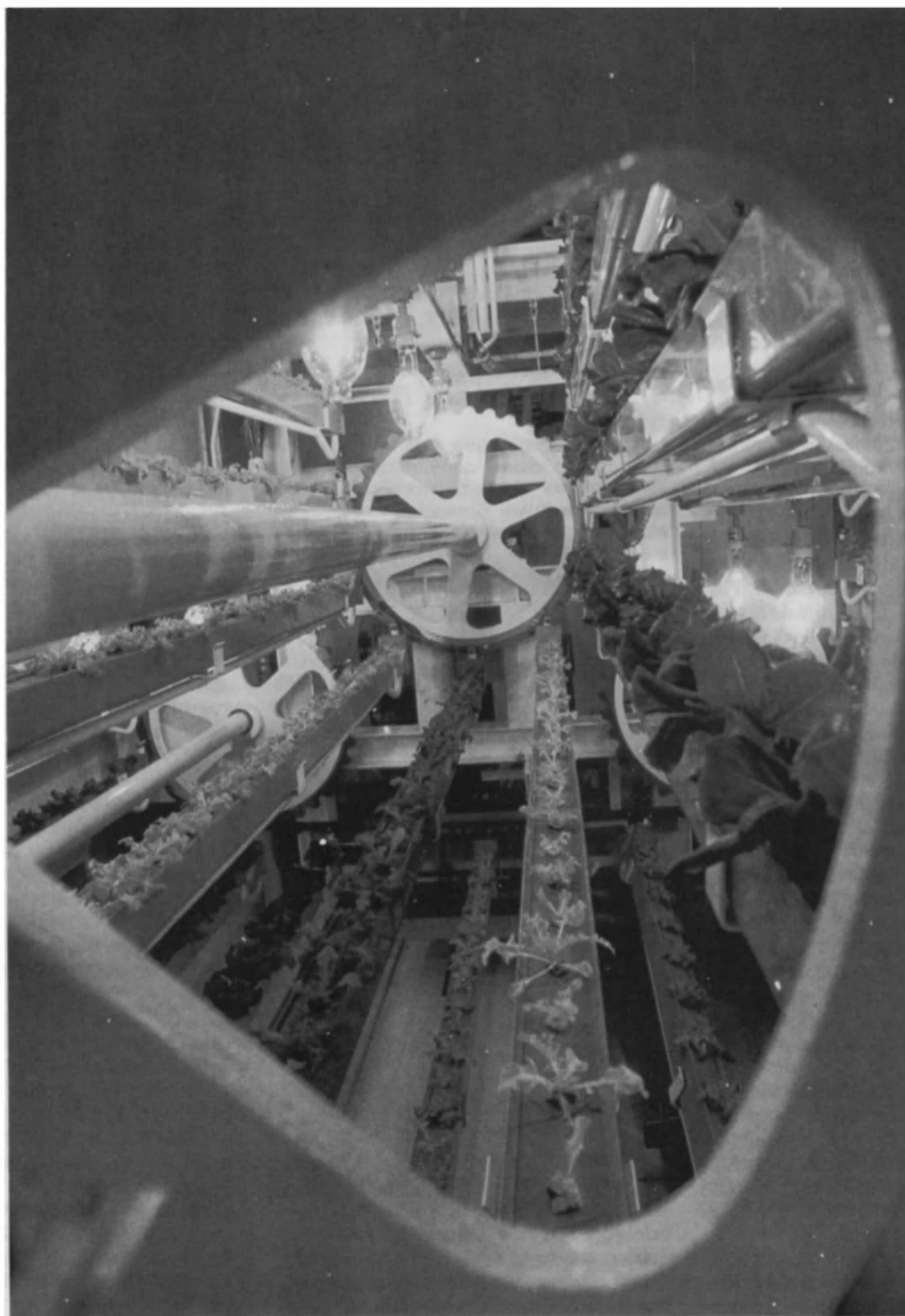


Foto Ethan Hoffman © Cosmos, Paris



Foto © AFP, París

ción. Esta instalación, que tiene un techo de plástico para impedir que pasen los rayos nocivos del sol, produce anualmente 50 toneladas de hortalizas, hutilizando sólo una quinta parte del agua que requieren las plantas cultivadas en tierra.

Las "factorías" de hortalizas presentan varias ventajas: producción planificada, control de calidad, bajos costos laborales, productos limpios. Gracias a ellas puede utilizarse el espacio de manera eficaz y obtenerse una producción estable, con independencia de las variaciones climáticas o estacionales. Sin embargo, el costo elevado de la energía eléctrica constituye una desventaja grave; se afirma que la iluminación artificial representa el 90% de los costos de funcionamiento del sistema creado por Mitsubishi.

Por otra parte, no hay duda alguna de que van a seguir realizándose investigaciones para elaborar sistemas de iluminación que tengan un mayor rendimiento energético, lograr un coeficiente fotosintético más alto que en el medio ambiente natural y aplicar la biotecnología a los cultivos industriales de hortalizas.

Lo que sí cabe esperar es que la tecnología de la producción de alimentos no sea monopolizada por un grupo de países industrializados y que se utilice también en aquellos países que más la necesitan. □

Una de las novedades de la Expo 85 de Tsukuba era una gran factoría para el cultivo de tomates que durante los seis meses que duró la feria produjo más de 13.000 tomates. Las plantas se nutrían con una solución especial de sales inorgánicas y en un medio ambiente controlado, con un óptimo de luz y de temperatura.

Inspeccionando las matas de tomate en una "agrofactoría" de cultivo hidropónico instalada por los japoneses en las Maldivas, en la que la tecnología se adaptó a las condiciones de este país tropical del océano Índico.



Foto © Matsushita Electric Trading Co., Osaka

KOICHIHARA HIROSHI, economista japonés, es miembro de la Secretaría de la Unesco.

Híbridos para el año 2000

por Raisa G. Butenko y Zlata B. Shamina

EL método consistente en cultivar tejidos, células y protoplastos vegetales nos ha permitido descubrir muchas cosas nuevas y sorprendentes acerca del metabolismo, la genética y la capacidad de la célula vegetal para llevar a cabo distintos programas de desarrollo. Ha servido también para elaborar nuevas técnicas agrícolas e industriales que son radicalmente diferentes de las tradicionales. Algunas de ellas se utilizan ya comercialmente, otras podrán aplicarse en el futuro inmediato mientras que las hay que habrán de quedar para un futuro lejano.

Muchas plantas medicinales que crecen en condiciones naturales empiezan a escasear, por lo que la posibilidad de obtenerlas es limitada. Ello implica que si se las continúa recogiendo como materia prima medicinal algunas variedades terminarán por desaparecer completamente. Por otro lado, el cultivo en plantación de plantas silvestres que se desea introducir en el consumo hu-

Los cultivos de células pueden servir para obtener productos medicinales derivados de las plantas. El ginseng o *Panax schin-seng* (abajo) es una planta que los científicos soviéticos cultivan de ese modo. Su nombre genérico de *Panax* se deriva de la palabra griega "panacea". En Oriente se considera al ginseng desde tiempos inmemoriales como medio para curar numerosas enfermedades.



Foto Michel Viard © Jacana, París

mano viene a ocupar un espacio valioso que de otro modo podría dedicarse a las plantas agrícolas alimentarias.

Una solución al problema consiste en cultivar industrialmente células de plantas medicinales de la misma manera que se cultivan los productos de microorganismos. Utilizando los métodos clásicos de la genética microbiológica se ha conseguido obtener vástagos productivos de ginseng, una planta residual que crece en una zona limitada del Lejano Oriente. Esos vástagos, dotados de cualidades adaptogénicas que reducen la fatiga y refuerzan la resistencia física, se están utilizando en factorías bioquímicas y producen una gran cantidad de biomasa provista de sustancias fisiológicamente activas. Se ha demostrado así la utilidad de elaborar técnicas industriales para el cultivo intensivo de células de plantas medicinales, y ahora les toca el turno a otros cultivos vegetales como los de *Dioscorea* y *Rauwolfia*.

Aparte de los métodos tradicionales de cultivar microorganismos, existen hoy nuevas técnicas para obtener vástagos productivos, en particular la hibridación de plantas asociadas que se autopropan activamente y poseen un alto grado de biosíntesis. Hasta ahora se han obtenido vástagos con un grado generalmente alto de productividad gracias a la mutagénesis inducida y a la optimización de las condiciones de cultivo. En algunos casos el contenido de sustancias biológicamente activas no era inferior al de la planta original.

Gran número de plantas agrícolas que se multiplican vegetativamente acumulan agentes patógenos, especialmente virus, de los que es imposible desembarazarse con los métodos usuales de propagación. En cambio, el cultivo de fragmentos meristemáticos no sólo libra a la planta futura de toda infección sino que permite obtener de un solo meristema una cantidad ilimitada de vástagos. Esta técnica, que recibe el nombre de micropropagación clonal, se está utilizando ampliamente en todo el mundo con las patatas, las plantas de adorno y los arbustos de bayas.

Aunque en el caso de las especies leñosas resulta más difícil regenerar las plantas a partir de un microvástago, en la Unión Soviética se han creado las condiciones adecuadas para producir en masa clones de chopo y álamo, así como de plantas de té y árboles de cítricos. De ese modo podrán obtenerse especímenes de gran valor y dentro de unos años huertos enteros de frutales de primer orden completamente idénticos al original.

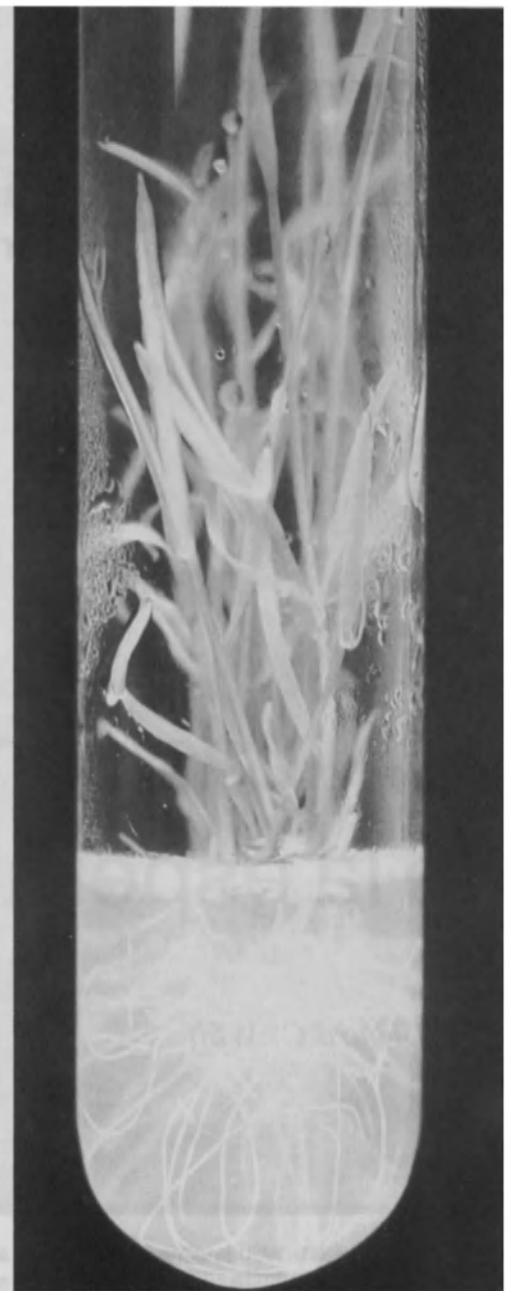
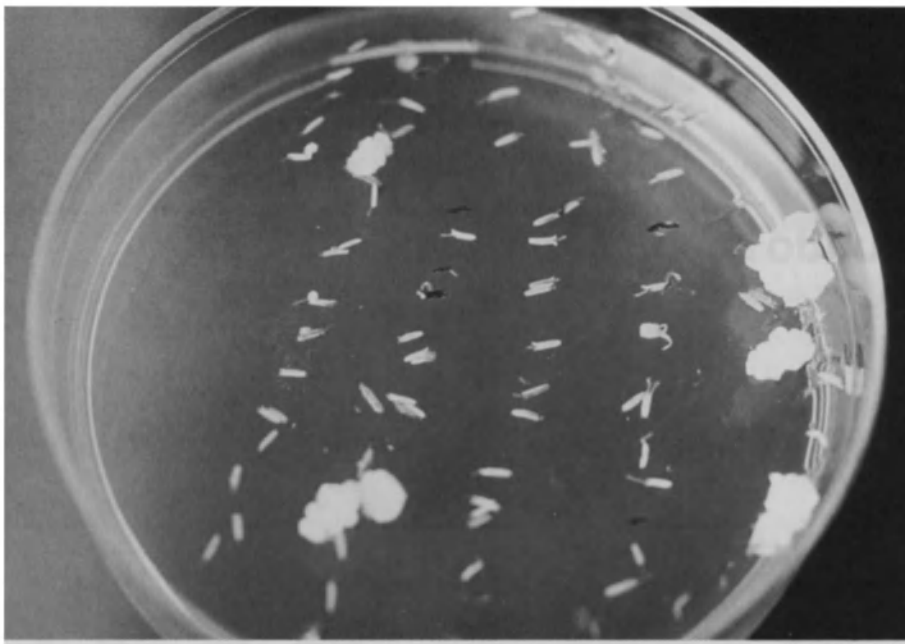
La micropropagación por clones es también sobremanera importante para la preservación de los recursos genéticos —tanto las especies raras en trance de desaparición como los genotipos únicos obtenidos por

hibridación y mutagénesis. Ese tipo de micropropagación se está convirtiendo en una de las fases del proceso de crianza de remolacha, cereales híbridos y pastos.

Muy importante es el empleo de haploides en la crianza de plantas, especialmente para la selección de híbridos estables. Con los métodos tradicionales pueden conseguirse en un plazo de diez u once años formas estables en las que se combinan varios caracteres útiles. Criando anteras híbridadas de primera generación se acorta en un tercio o un cuarto ese proceso. Con este método se han obtenido en la Unión Soviética nuevas variedades de cebada y tabaco, nuevas variedades prometedoras de patatas y otras muchas plantas agrícolas. La nueva tecnología simplifica y acorta considerablemente el proceso de crianza.

El arte de obtener las llamadas variaciones somaclonales —amplia gama de regenerantes vegetales— es uno de los logros de la biología celular. A partir de los somaclones es posible criar formas que conserven todos los caracteres positivos de la variedad pero con el añadido deliberado de ciertos rasgos necesarios y especialmente viables. Obtener esa combinación de rasgos valiosos para la agricultura mediante hibridación o mutagénesis —es decir los métodos tradicionales de crianza— es difícil. Pero en institutos soviéticos especializados se ha logrado criar a partir de somaclones de patata plantas que combinan la alta productividad con la resistencia a las fitoforas y a los virus. La combinación de la precocidad con la mayor longitud de los granos, que era imposible conseguir con el método habitual de crianza de plantas de arroz de grano redondo, ha resultado posible con los somaclones del arroz. Las variaciones somaclonales ofrecen manifiestamente un material excelente para criar plantas que sean al mismo tiempo productivas y resistentes a las dificultades.

Los casos que acabamos de citar muestran hasta donde ha llegado la moderna tecnología. Son ejemplos de las aplicaciones prácticas que ésta ha tenido en la agricultura soviética y que se han introducido asimismo en la industria. Entre las innovaciones con perspectivas de rápido éxito, es decir que han pasado de la fase de experimentación en laboratorio pero sin aplicarse aún en amplia escala, la más prometedora es el cultivo de células. El problema más arduo con que se enfrenta la agricultura actual es tal vez cómo obtener cosechas garantizadas en las zonas donde aquélla está expuesta a diversos riesgos. Para superar el problema es menester crear cepas de las principales plantas alimentarias que sean resistentes a las enfermedades, las plagas, los herbicidas y los factores ambientales desfavorables. En la Unión Soviética las cualidades más importantes que se requieren son la inmunidad a la salinidad del



Fotos C. Poisson © IRAT, Montpellier, Francia

Los minúsculos fragmentos en forma de larva en el platillo de cultivo (foto superior) son granos de polen. Colocados en una solución nutritiva, forman un callo (abajo) a partir del cual puede generarse de nuevo una planta completa (derecha).

suelo, a la sequía y a las heladas. El cultivo celular permite crear condiciones en que todas las células salvo las resistentes perecen y las que sobreviven constituyen plantas potenciales. Así, cultivando células en entornos con un alto grado de salinidad es posible obtener plantas resistentes a ésta.

El nivel y el ritmo actual de desarrollo en materia de crianza de plantas obliga a buscar nuevos métodos y cepas parentales con vistas a obtener variedades que abran perspectivas para el siglo próximo. Se siente ya vivamente la necesidad de dar con nuevos enfoques y técnicas que permitan éxitos ulteriores. Está surgiendo la posibilidad de recurrir a variedades silvestres que contengan genes valiosos con vistas a la mutación del material genético mediante la combinación de células somáticas de antepasados lejanos. Se han dado ya casos de empleo de híbridos somáticos de patatas cultivadas y silvestres. Gracias a la síntesis de los caracte-

res de los predecesores, se ha podido dotar a uno de ellos, por transferencia de genes citoplasmáticos, de resistencia a las enfermedades virales.

Aún más prometedora aparece la creación de "cíbridos", cepas híbridas que han recibido los citoplasmas de ambos progenitores y el núcleo de uno de ellos. Estos son ejemplos de cómo se elaboran nuevos genotipos, pero las posibilidades que ofrece esa elaboración son en teoría ilimitadas. A una célula se la puede transformar transfiriéndole no sólo el núcleo, el citoplasma o algunos organelos de la otra planta, sino también genes particulares anteriormente clonados en las bacterias.

Todo esto puede parecer a menudo pura fantasía, pero justamente el hecho de que se haya trazado ya un plan para la aplicación de tales procesos se debe a la imaginación de los investigadores. El próximo paso será la elaboración de una técnica de transformación. Los primeros caracteres que se obtendrán por transferencia de genes particulares serán manifiestamente la resistencia a los herbicidas y a ciertas dificultades y, quizá, una mayor actividad biosintética si se consigue aislar fermentos celulares de una biosíntesis de sustancias fisiológicamente activas.

Como la clonación de genes parece constituir una posibilidad real en un futuro próximo, todo esto se aplica a los caracteres monogénicos. La transferencia de todos los caracteres es una tarea para un futuro más lejano cuya realización exigirá descubrir la manera de aislar y clonar genes reguladores. Por el momento, tal posibilidad parece remota. Pero no hace tanto tiempo que la mayoría de las técnicas hoy empleadas en la agricultura eran consideradas puras fantasías de los biólogos y de los hombres de ciencia en general. □

RAISA GEORGIEVNA BUTENKO, destacada especialista soviética en biología celular y fisiología vegetal, ha realizado amplias investigaciones en relación con el empleo de los tejidos de plantas y cultivos celulares con fines científicos y prácticos. Miembro correspondiente de la Academia de Ciencias y de la Academia de Ciencias Agrícolas de la URSS, es jefe del departamento de biología celular y biotecnología del Instituto de Fisiología Vegetal de la Academia y autora de unos 300 estudios y artículos científicos.

ZLATA BORISOVNA SHAMINA es una destacada especialista soviética en biología celular y genética de las plantas. Ha publicado más de cien trabajos en materias de su especialidad.

¿Podrán realizarse las promesas que la biotecnología ofrece a los campesinos del Tercer Mundo?

Las semillas de la esperanza

por Edward C. Wolf



DESDE 1920 a 1950 la agricultura de los países industrializados estuvo dominada por técnicas mecánicas gracias a las cuales pudo aumentarse de manera espectacular la cantidad de alimentos producida por trabajador y por hora. Poco después de la Segunda Guerra Mundial la era de la química vino a sustituir a la de la mecánica, cuando los agricultores de todo el mundo comenzaron a utilizar los fertilizantes artificiales y los plaguicidas químicos sintéticos, acrecentando así considerablemente sus cosechas por hectárea. Y la investigación en el campo de la biotecnología centró ahora su enfoque directamente en las plantas de cultivo.

Hasta hoy se han realizado progresos en los países industrializados, que la opinión pública sigue de cerca. Pero no se tiene aun una idea muy clara de los riesgos ecológicos que entraña liberar en el medio ambiente microbios o plantas resultantes de la unión de genes. La elaboración de reglamentaciones y de directrices aplicables a la tecnología más reciente ha dado origen a una controversia pública en torno al tema de la ingeniería genética. En los Estados Unidos la polémica se ha centrado en torno a las propuestas de liberar bacterias modificadas que retrasen la formación de escarcha en las plantas de fresa y de patata (ver la foto de la pág. 16). Habida cuenta de la capacidad de las bacterias para reproducirse en el medio

ambiente y, de ese modo, propagarse más allá de los lugares donde se las ha puesto en libertad, la tarea de prever las repercusiones de orden ecológico cobra más importancia y complejidad que en el caso de los demás tipos de tecnología. La elaboración de la "ecología predictiva" necesaria, según los críticos, para un examen cabal del medio ambiente y la redacción de reglamentaciones que protejan de las incertidumbres ha de retardar la comercialización de los productos comerciales de la biotecnología en beneficio de los agricultores tecnificados de las zonas rurales.

La ingeniería genética de las plantas es bastante más compleja que la modificación de microbios, pero al mismo tiempo despierta menos controversias de carácter ecológico. Las plantas agrícolas con caracteres modificados están bajo el control directo del agricultor y su reproducción y propagación en el entorno son fenómenos al mismo tiempo más lentos y más previsibles. Ciertos caracteres de las plantas como la tolerancia a las sequías, la capacidad de soportar el agua salada y la resistencia a las plagas —propiedades que han interesado siempre a los cultivadores— constituyen centros de interés para las nuevas técnicas.

Gracias a su capacidad para modificar virtualmente cualquier carácter de las plantas y para practicar en ellas ajustes definidos con precisión, la biotecnología parece ofre-

cer instrumentos perfectamente adecuados para una estrategia de desarrollo agrícola que haga hincapié en la eficaz utilización de los recursos y en el aprovechamiento de las posibilidades intrínsecas de la agricultura. Por ejemplo, con el tiempo sería posible modificar la fisiología de una planta para mejorar la eficacia de la fotosíntesis, permitiendo que las semillas produjeran más hidrato de carbono y, con ello, mejores cosechas. Las adaptaciones que reducen a una ínfima cantidad la pérdida de agua de algunas plantas a través de sus hojas por transpiración pueden servir para disminuir las necesidades de riego si se aplican a otras plantas agrícolas más difundidas. Adelantos como éstos pueden efectivamente aliviar la presión sobre las tierras poco fértiles y hacer tal vez innecesarias las importantes inversiones de capital que requieren los proyectos de riego.

Sin embargo, nada indica que la biotecnología sea por naturaleza apropiada para una estrategia de eficiencia y regeneración. Muchas innovaciones biotecnológicas producen efectos de compensación recíproca más que beneficios netos. Conseguir una fotosíntesis más eficaz podría servir para mejorar las cosechas, pero probablemente originaría un agotamiento más rápido de los elementos nutritivos del suelo y una mayor dependencia respecto de los abonos artificiales.

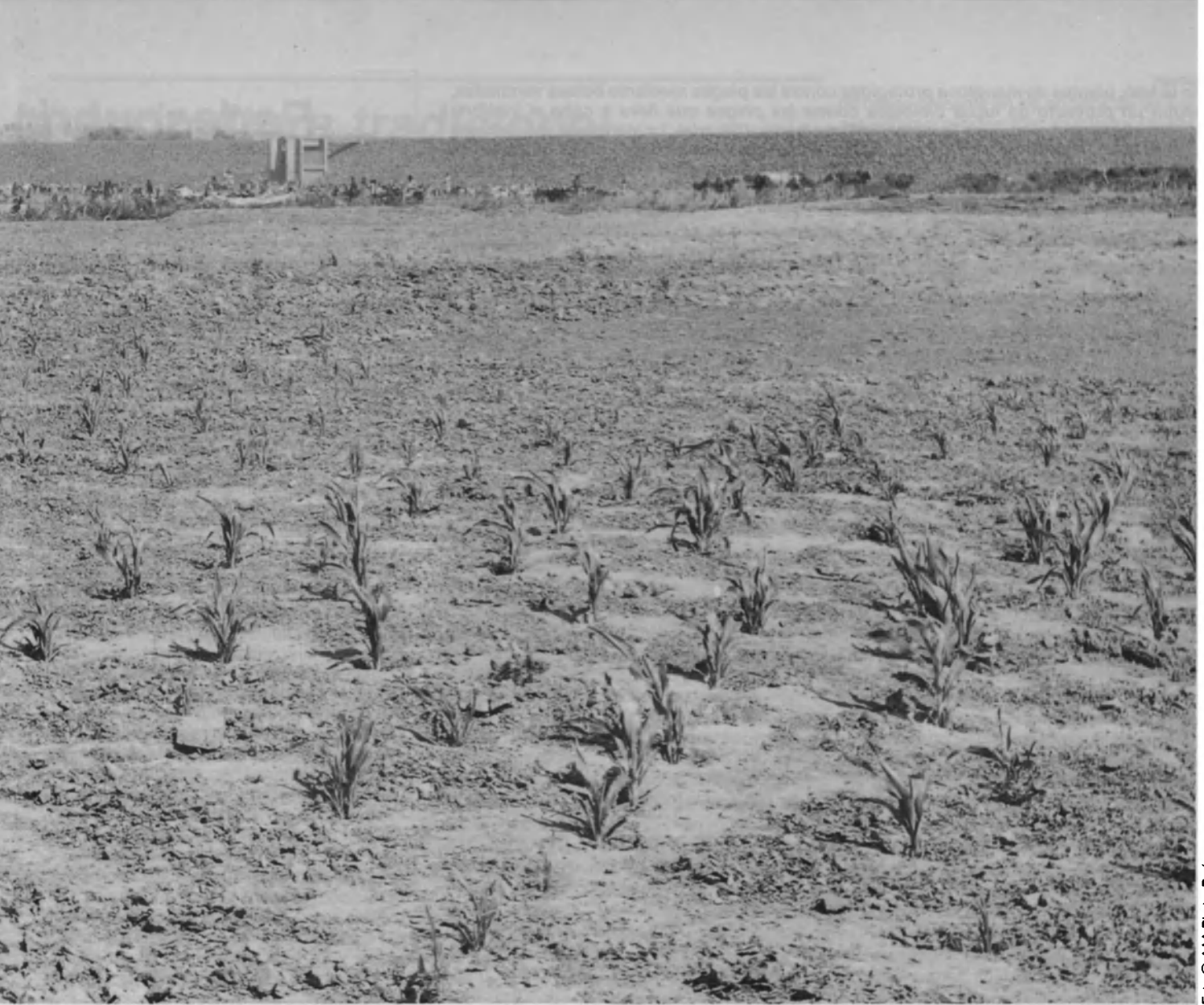


Foto © AAA Photo, París

El factor principal que ha de condicionar la orientación que tome la biotecnología es el traspaso acelerado de la investigación del sector público al privado, fenómeno especialmente flagrante en los Estados Unidos. Durante casi un siglo la mayor parte de las investigaciones en materia agrícola estuvieron a cargo de establecimientos de experimentación agrícola de carácter público y de universidades, unos y otros patrocinados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA). Las empresas privadas comercializadoras de semillas utilizan con frecuencia las variedades creadas por los criadores de plantas con apoyo público. Sin embargo, en los últimos treinta años el sector privado se ha hecho cargo de las actividades de investigación, y las empresas privadas administran en la actualidad dos terceras partes de la investigación agrícola en los Estados Unidos.

En el campo de la biotecnología se siguen creando condiciones cada vez más favorables para el sector privado. El Agricultural Research Service y el Cooperative State Research Service del Departamento de Agricultura norteamericano, dos programas federales que prestan asistencia a la mayoría de las actividades que se llevan a cabo en materia de biotecnología agrícola, destinaron en 1984-1985 menos de 90 millones de dólares a la investigación sobre biotecnología. En cambio, la empresa Mon-

santo, que dispone de la mayor —aunque no la única— reserva de biotecnología vegetal entre las empresas privadas norteamericanas, ha invertido ya 100 millones de dólares en el desarrollo de la biotecnología agrícola. Y en los años venideros el sector privado va a desempeñar sin duda un papel decisivo en relación con ésta. Salvo algunas excepciones importantes como la mecanización o la obtención de híbridos de maíz, éste no ha sido en general el caso de las innovaciones determinantes en agricultura.

Dejar en manos del mercado el establecimiento de las prioridades de la investigación puede hacer pasar por alto oportunidades promisorias, ya que el interés que la investigación preste a las plantas de cultivo será proporcional al valor de cada planta y al tamaño del mercado. Como para mejorar las cosechas de los pequeños agricultores de los países en desarrollo es necesario dar con innovaciones agronómicas baratas, que en muchos casos deben ajustarse a un lugar concreto y, por ende, no se acomodan a una comercialización masiva, la aplicación de esas mejoras a la gran mayoría de los agricultores del mundo no ofrece grandes beneficios. Pocas empresas privadas parecen dispuestas a entrar en un mercado tan poco prometedor; es pues de suponer que las investigaciones sobre plantas agrícolas de menor importancia como el sorgo y el mijo, que interesan principalmente a quienes

Los agricultores del Tercer Mundo que cultivan plantas alimenticias para su familia en tierras marginales están sujetos a una serie de riesgos como las malas cosechas, las lluvias irregulares y las catástrofes naturales. Las posibilidades que ofrece la biotecnología con vistas a la rápida obtención de nuevas variedades e híbridos capaces de resistir condiciones desfavorables como la salinidad del suelo y la sequía podrían contribuir de manera importante a la satisfacción de las necesidades de esos agricultores de subsistencia generalmente incapaces de soportar las inversiones en combustible, abonos artificiales y maquinaria que han sido la base de los últimos progresos de la agricultura y de cuyos métodos agrarios apenas se ocupaban hasta hace poco los investigadores. En la foto, campesinos cavando un campo de mijo en Mauritania.

En la foto, plantas de mandioca protegidas contra las plagas mediante bolsas ventiladas, según un proyecto de lucha biológica contra las plagas que lleva a cabo el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IIAT) de Ibadán (Nigeria). La mandioca proporciona a unos 200 millones de africanos el 50 por ciento de sus calorías. El IIAT ha obtenido variedades de mandioca resistentes a las enfermedades que distribuye en varios países de África.



Foto G. Tartagn-FAO

practican una agricultura de subsistencia en el Tercer Mundo, no recibirán la debida atención.

Los programas nacionales y los centros internacionales de investigación tienen un interés evidente en aplicar la biotecnología. Perfeccionar el cultivo de plantas, elaborar técnicas para el almacenamiento de plasma germen y para la evaluación y la propagación de las plantas y encontrar soluciones nuevas para la lucha contra las plagas son exactamente el tipo de innovaciones que los científicos necesitan para ampliar la investigación sobre las plantas alimentarias de los países en desarrollo. Varios decenios de labor fueron necesarios para producir variedades de trigo y arroz de gran rendimiento. Gracias a la biotecnología podrían obtenerse con mayor rapidez mejoras similares en el mijo, el sorgo, la mandioca y las leguminosas tropicales.

El predominio del sector privado en la esfera de la biotecnología plantea una serie de interrogantes en relación con el lugar que han de ocupar las nuevas técnicas en los programas internacionales de investigación. Las empresas privadas pueden entrar en competencia con los centros internacionales de investigación agrícola patrocinados por el Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR, Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales), con sede en Washington, particularmente cuando se trata de mejoras de plantas agrícolas primordiales y ampliamente comercializadas, como el trigo y el arroz. El pleno intercambio de la información científica, esencial para los centros internacionales, podría verse restringido si pareciera poner en peligro la investigación llevada a cabo por las empresas privadas. Por otro lado, es posible que con creciente frecuencia los centros internacionales tengan que comprar o adquirir por licencia nuevas técnicas que antes estaban gratuitamente a disposición de todos por las vías oficiales. Por último, las empresas privadas rivalizarán con los centros a la hora de contratar a los científicos competentes, y tal vez

esos centros no estén en condiciones de igualar los sueldos, las instalaciones y la seguridad que pueden ofrecer los laboratorios de empresas.

La incertidumbre pesa asimismo sobre los programas nacionales de biotecnología. Unos pocos países en desarrollo, en particular Indonesia, Filipinas y Tailandia, han creado programas nacionales de biotecnología agrícola. Filipinas considera su programa como una primera etapa hacia una estrategia de industrialización que contribuya a que el país no siga dependiendo del petróleo importado. Los científicos filipinos proyectan utilizar los residuos y productos biológicos de plantas cultivadas como materia prima para la producción de combustibles líquidos y productos químicos industriales y desarrollar las industrias de elaboración de alimentos mediante métodos biotecnológicos. W.C. Padolina, del Instituto Nacional de Biotecnología y Microbiología Aplicada de la Universidad de Filipinas, escribe a este respecto: "La estrategia nacional consiste en transformar por medios biológicos la biomasa en alimentos, combustible, fertilizantes y productos químicos."

Ciertamente, alcanzar tales objetivos resultará costoso. Pocos países pueden permitirse la inversión en equipo que exigen los principales programas biotecnológicos, y hay países que no poseen un número suficiente de hombres de ciencia capacitados para ocuparse de esos programas. En este aspecto, la biotecnología agrícola presenta una marcada diferencia con los programas tradicionales de cultivo de plantas, que exigen una inversión de capital relativamente modesta. □

EDWARD C. WOLF es investigador del Worldwatch Institute de Washington, centro de investigaciones creado para estudiar los problemas planetarios cuyos fondos provienen de las fundaciones privadas y de las organizaciones del sistema de las Naciones Unidas. El presente artículo está tomado, en forma condensada, de su obra *Green Revolution: New Approaches for Third World Agriculture*, publicada por el Worldwatch Institute en 1986.

Redescubrir

RECIENTEMENTE han comenzado los agrónomos a reconocer que numerosos sistemas de cultivo que se han mantenido a lo largo de los milenios son un ejemplo de cuidadosa utilización del suelo, del agua y de las sustancias nutritivas, es decir de los elementos necesarios para que sea viable una agricultura de alto rendimiento. Esta revalorización tardía proviene en parte de la necesidad de utilizar más eficazmente las inversiones y en parte también del creciente interés por la tecnología biológica.

Sin embargo, los sistemas tradicionales presentan limitaciones reales desde el punto de vista agronómico y muy raras veces pueden competir, en términos de producción por hectárea, con los métodos modernos de cultivo intensivo. Conviene saber exactamente cuales son esas limitaciones, pues por un lado determinan cómo pueden modificarse esos sistemas tradicionales y, al mismo tiempo, qué contribución pueden hacer al esfuerzo por incrementar la productividad agrícola.

En primer lugar, la mayoría de las variedades tradicionales de plantas cultivadas adolecen de un potencial genético limitado que les impide dar un alto rendimiento en grano. A menudo se trata de plantas, por ejemplo, de tallo alto y hojas anchas, caracteres que son útiles para satisfacer las necesidades no alimentarias de los agricultores, que obtienen así material para techado, combustible y forraje, así como alimentos para su familia. Ahora bien, esas variedades tradicionales responden en escasa medida a los dos elementos de la técnica agronómica que posibilitan el alto rendimiento en grano: la plantación densa y los fertilizantes artificiales. Pese a tales limitaciones, existe entre esas variedades una diversidad genética de inapreciable valor para los criadores de plantas en busca de genes capaces, entre otras cosas, de resistir a las plagas y a las enfermedades.

En segundo lugar, los pequeños agricultores tienen a menudo que plantar en suelos poco fértiles, en los que la combinación y la rotación de los cultivos es indispensable para contrarrestar tal deficiencia. Por ejemplo, gran parte de las tierras tropicales carecen de nitrógeno suficiente para lograr unas plantas robustas; y en amplias zonas del África semiárida los suelos son deficientes en fósforo. En tales suelos el cultivo de plantas de alto rendimiento, que transforman con más eficacia las sustancias nutritivas disponibles en granos comestibles, puede agotar rápidamente esos nutrientes si los cultivan agricultores que no pueden comprar abonos complementarios.

Pese a ello, los métodos tradicionales pue-

Una mujer de Mauritania llena su cuenco del mijo que se amontona junto a la tienda familiar. Las investigaciones recientes han contribuido a una nueva apreciación de las ventajas ecológicas y agronómicas de los métodos agrarios tradicionales como los que en África occidental practican los cultivadores de mijo y de sorgo. La combinación de la biotecnología con las cualidades ecológicas de esos métodos tradicionales puede dar como resultado la elaboración de soluciones innovadoras para los problemas económicos y ambientales de la agricultura.

Foto Naud © AAA Photo, Paris

la agricultura tradicional

den contribuir de manera importante al esfuerzo por incrementar la productividad agrícola. En ellos se plasman los que podemos llamar "principios de permanencia". "Ni la agricultura occidental moderna ni la agricultura tradicional en su forma actual son exactamente lo que en el futuro necesitarán la mayoría de los agricultores pequeños", dice Gerald Marten, investigador del East-West Center de Hawái. "El reto con que se enfrenta la investigación agronómica consiste en mejorar la agricultura mediante procedimientos que permitan conservar las ventajas de la agricultura tradicional y satisfacer a la vez las necesidades de los nuevos tiempos."

El sistema de líneas o surcos pareados ("intercropping"), la agrosilvicultura, la rotación de los cultivos y otros métodos de la agricultura tradicional imitan los procesos ecológicos naturales; la viabilidad de muchas de las prácticas tradicionales descansa precisamente en los modelos ecológicos que reproducen. Este empleo de analogías naturales permite formular ciertos principios propios para la elaboración de sistemas agrícolas que optimicen el uso de la luz solar, de los nutrientes del suelo y de la lluvia.

Los sistemas de rotación de los cultivos, tales como el método de la roza en África, muestran cómo pueden servirse los pequeños agricultores de la regeneración natural

del suelo. Los campesinos que utilizan esos métodos limpian los campos que van a cultivarse mediante la quema de los arbustos y matorrales que han crecido naturalmente. La ceniza así producida sirve de abono para la primera cosecha. Tras un par de recolecciones, al agotarse los nutrientes del suelo, disminuye el volumen de la cosecha y los campesinos abandonan el campo para roturar una nueva área de cultivo. En el campo antes cultivado se produce entonces una regeneración natural; los nuevos arbustos y árboles regeneran gradualmente la tierra nutriendo la capa superior del suelo y restaurando así la fertilidad inherente a la tierra. Luego de 15 o 20 años el campo puede roturarse y cultivarse de nuevo.

Este sistema presenta limitaciones evidentes. Pero incluso los sistemas de desintegración ofrecen una base para la elaboración de técnicas agrícolas productivas y perdurables. Por ejemplo, los investigadores del Instituto Internacional de Agricultura Tropical, con sede en Nigeria, han adaptado los principios de la regeneración natural propios del sistema de roza o roturación a un sistema agroforestal de cultivos continuos llamado "siembra de vereda". Las plantas crecen entre hileras de árboles que fijan el nitrógeno; al caer, las hojas de esos árboles acrecientan la materia orgánica del suelo, mientras que el

nitrógeno presente en los nódulos de las raíces incrementa la fertilidad de la tierra. De esa manera es posible obtener un gran volumen de cosecha sin necesidad de un intervalo de tiempo entre cultivo y cultivo.

Los medios tradicionales de investigación pueden también utilizarse para superar las limitaciones agronómicas que condicionan la escasa productividad de los sistemas tradicionales. En los últimos decenios los criadores de plantas han logrado producir ciertas variedades aptas para los sistemas basados en un fuerte empleo de abonos artificiales, en el riego permanente y en el monocultivo de gran densidad. Trabajando a partir de la diversidad genética presente en las variedades tradicionales de plantas, pueden utilizar los métodos modernos para obtener variedades mejor adaptadas a las condiciones con que se enfrenta la pequeña agricultura de subsistencia.

Como muestran los ejemplos antes mencionados relativos a África, los investigadores pueden recurrir a los principios tradicionales para elaborar técnicas nuevas, capaces de preservar la estabilidad y la productividad de la tierra pese al aumento de la población. Como ha quedado indicado, los métodos tradicionales presentan limitaciones, pero no por ello debe considerárselos prácticas arcaicas de las que hay que desembarazarse. A decir verdad, la agricultura tradicional es una de las bases en las que debe apoyarse el mejoramiento científico de la agricultura. □

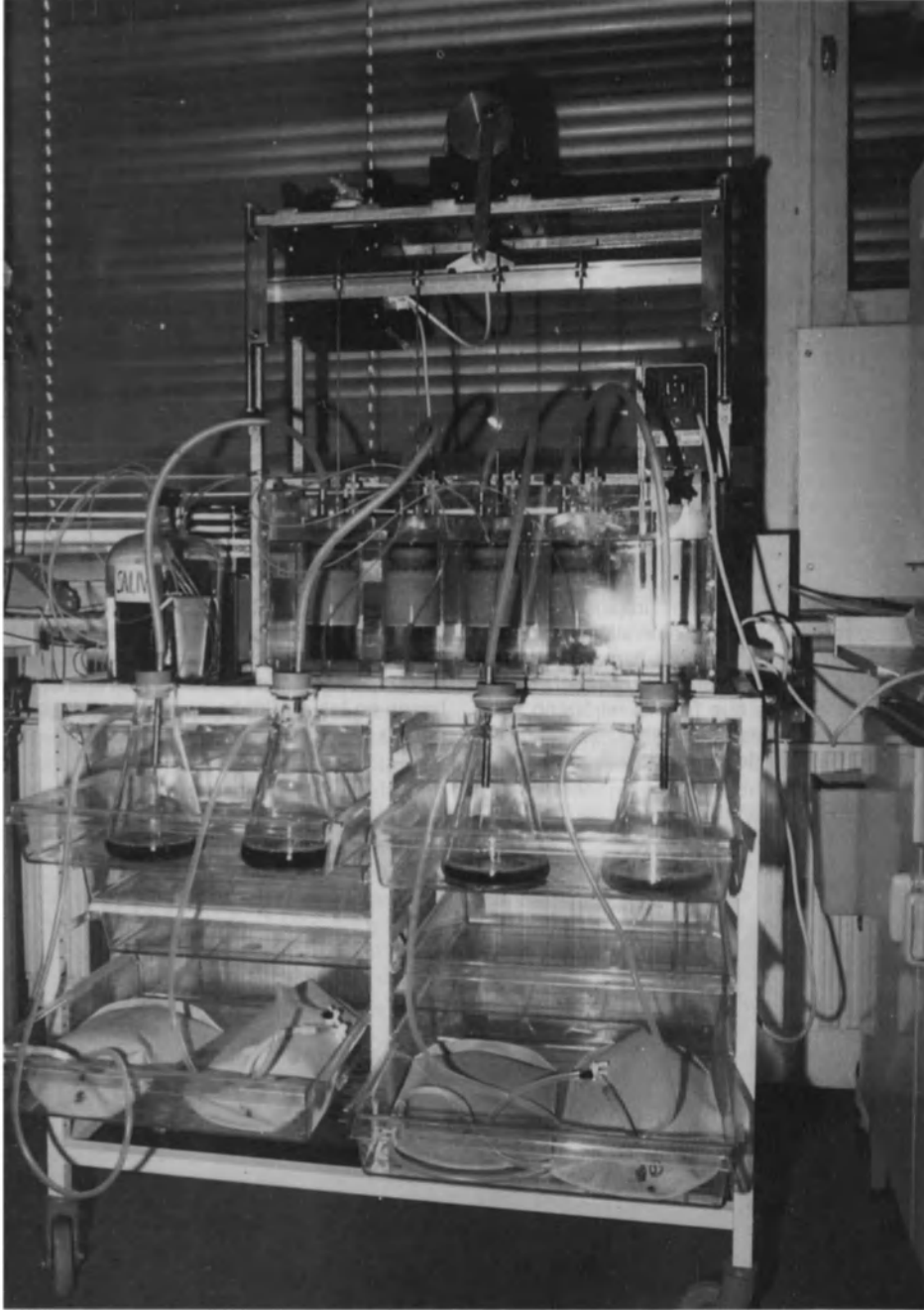


Una vaca llamada Rusitec

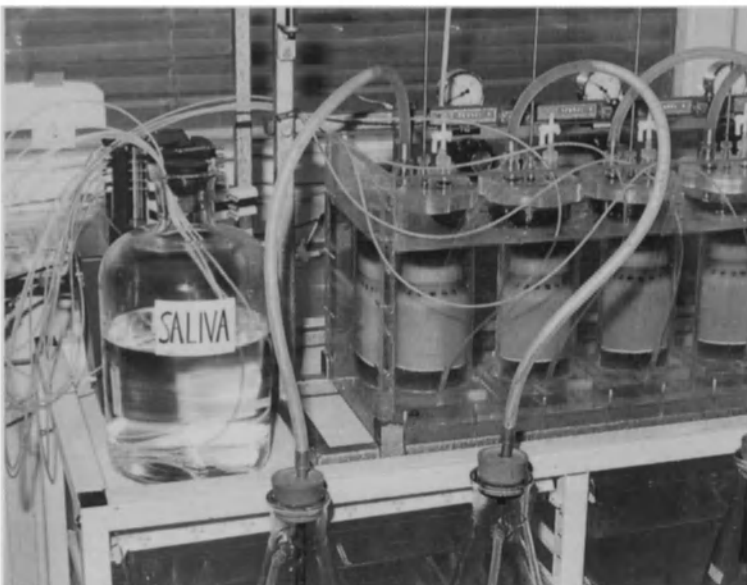
El rumen o panza es una parte importante del sistema digestivo de los rumiantes tales como la vaca, el búfalo, la oveja y la cabra. En él viven una serie de microorganismos cuya función consiste en deshacer los alimentos fibrosos tales como la hierba y la paja y convertirlos en productos que el animal pueda aprovechar para producir carne, leche, lana o fuerza de tracción.

Para estudiar la población microbiana del rumen en laboratorio, el Dr. J.W. Czerkawski, del Hannah Research Institute de Escocia (R.U.), ha elaborado una "vaca artificial". Esta vaca, llamada RUSITEC (sigla de "Rumen Simulation Technique" o Técnica de simulación del rumen), se está utilizando actualmente en el marco de un proyecto de análisis de distintos alimentos que llevan a cabo la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) en el Centro de Biotecnología Agrícola que ambos poseen en Seibersdorf, cerca de Viena (Austria).

En el rumen artificial se pueden mantener indefinidamente los microorganismos introduciendo en él los alimentos normales de un rumiante y estableciendo las adecuadas condiciones fisiológicas de temperatura, pH y secreción de saliva. A medida que RUSITEC va masticando los alimentos que se le facilitan los científicos emplean técnicas de detección radioactiva para comparar su digestibilidad. (Cuantos mayor es la digestibilidad de un alimento, tanto mayor será el valor nutritivo de éste). Mediante el análisis de las cualidades de los distintos alimentos, los científicos intentan determinar dietas mejoradas para los animales domésticos en los países en desarrollo. Las fotos de esta página muestran a RUSITEC en acción. Arriba, los recipientes que representan el rumen donde tiene lugar la fermentación microbiana de los alimentos; abajo a la izquierda, la técnica de simulación del rumen en acción; abajo, análisis de los productos terminales de la digestión fermentativa.



Fotos FAO/OIEA



Nuestros amigos los microbios

Un programa de la Unesco para poner la biotecnología al servicio del desarrollo

LOS cultivadores de alfalfa en Kenia, de frijoles en América Latina y de arroz en Asia sudoriental están recibiendo actualmente una asistencia encaminada a incrementar sus cosechas, gracias a un programa de la Unesco que se sirve de microorganismos para fortalecer el desarrollo rural.

El programa se ha puesto en marcha en un momento en que muchos países en desarrollo hacen frente al problema de cómo aumentar su producción alimentaria para nutrir a una población cada vez más numerosa. El alimento producido debe ser de una calidad que permita una dieta equilibrada con un contenido suficiente de proteínas. Para atender a esa exigencia varias naciones en desarrollo vienen extendiendo sus tierras cultivables a zonas que ofrecen pocas posibilidades de productividad sostenida. El éxito de tales intentos depende invariablemente de la existencia de abonos nitrogenados, cuya función en el mantenimiento de la productividad del suelo es esencial.

A fines del tercer cuarto de este siglo la producción de alimentos en el mundo dependía del suministro de 40 millones de toneladas de abonos nitrogenados producidos por síntesis, que representaban un costo de 8.000 a 10.000 millones de dólares al año. Se estima que para el año 2000 las necesidades anuales serán de 160 millones de toneladas. El costo del nitrógeno para fabricar fertilizantes es enorme, especialmente cuando se trata de la economía de tipo agrícola de los países en desarrollo, con frecuencia abrumados por la escasez de divisas.

El nitrógeno representa las cuatro quintas partes de la atmósfera terrestre y existe en abundancia en la naturaleza. Desde el siglo pasado se sabe que las raíces de las plantas leguminosas, unidas a determinadas bacterias, permiten extraer el nitrógeno de la atmósfera en virtud del proceso llamado de fijación del nitrógeno. Entre esas plantas figuran el cacahuete, el guandul, el frijol mung, la soja, la lenteja, el frijol verde, el trébol carretón, el trébol blanco y el loto cultivado, por mencionar sólo unas pocas especies que suelen cultivarse actualmente en los países desarrollados.

Las principales bacterias capaces de fijar el nitrógeno pertenecen al género del *Rhizobium* o rizobacterias. Cuando infectan la

planta estas bacterias estimulan la formación de nódulos —protuberancias— en las raíces y, dentro de éstos, mejoran la fertilidad del suelo para la planta huésped al añadirle compuestos nitrogenados. (En 1975 el total del nitrógeno fijado por medios naturales se calculaba en 175 millones de toneladas; sólo las plantas leguminosas se encargan de fijar 35 millones de toneladas.)

Aparte del *Rhizobium*, entre los demás microorganismos en que se basan los sistemas de fijación del nitrógeno figuran la *Azolla Anabaena*, utilizada desde hace siglos por los arroceros de China (véase *El Correo de la Unesco* de diciembre de 1984); el *Azotobacter*, que vive independientemente en el suelo, el *Spirillum* y el *Clostridium*, que se asocian con ciertas gramíneas (como la caña de azúcar) y con los cereales.

Con objeto de contribuir al desarrollo rural mediante el fomento de las técnicas de fijación biológica del nitrógeno en los países en desarrollo, la Unesco, con ayuda del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO); ha establecido varios centros de recursos microbianos (MIRCEN) en distintas partes del mundo a efectos de catalogar y preservar el *Rhizobium* y otros microorganismos de importancia económica y enseñar a la mano de obra del país a servirse de ellos. Los centros están integrados en una red mundial de centros similares que se ocupan de aprovechar con fines de desarrollo diversas aplicaciones biotecnológicas, desde la producción de biogás hasta la de biofármacos.

Mediante la inoculación de cultivos de una especie apropiada de *Rhizobium*, o de cianobacterias en el caso del arroz, en la semilla, es posible aumentar la cantidad de nitrógeno disponible para la planta de que se trate. Así pues, la producción y el empleo de estos biofertilizantes puede contribuir a elevar los niveles de productividad de los recursos agrícolas del planeta y ahorrar petróleo y sus costosos productos elaborados tecnológicamente, como los abonos químicos.

En interacción con otros programas internacionales, ya están funcionando, por conducto de la red de centros MIRCEN, sistemas centrados en la elaboración de material de inoculación de biofertilizantes o de *Rhizobium*, con carácter de cooperación


por E.J. DaSilva,

J. Freire,

A. Hillali y

S.O. Keya

Abajo, instrucciones bilingües (en inglés y swahili) para agricultores en un paquete de fertilizantes producidos con bacterias por el MIRCEN (Unesco) de Kenia. El fertilizante, mezclado con las semillas de ciertas leguminosas como los frijoles o el trébol en el momento de la siembra, ayuda a la planta a fijar el nitrógeno de la atmósfera que es esencial para su crecimiento.



LEGUME INOCULANT

(helps legumes to use nitrogen from air)
Prepared by
DEPARTMENTS OF SOIL SCIENCE & BOTANY
(MIRCEN PROJECT)
FACULTY OF AGRICULTURE, KARIAKI CAMPUS
UNIVERSITY OF NAIROBI
P.O. BOX 30197, NAIROBI, KENYA.

CROP
BATCH
USE BEFORE

DIRECTIONS FOR USE
Use only for the crop mentioned on the packet. The content of the packet is sufficient for 15 kg of big seeds. Mix the content of this packet well with seeds moistened with water or sugar solution until all seeds are uniformly coated and sow immediately.

MAELEZO YA KUTUMIA
Tumia tu kwa mwanja uliyopendekezwa juu ya pakiti. Pakiti hii ina wazi kutumika kwa mibegu kama kiasi cha 15 kg. Changanya vizuri mibegu na mabegu kwa kutumia maji au kioo cha sukari hadi mabegu yote yaliyo kila mibegu na upande mata maji.

CAUTION
Inoculated seeds or inoculant should not be exposed to sunlight, heat or mixed with chemical fertilizers. This inoculant supplies only nitrogen, therefore apply all other nutrients to the soil.

ONYO
Mbegu zilizo chanzwa au mchango lazima ziwashwe mabali hasa joto au jua kati na usizichanganya na miboleo auo za dhamiri chumvi. Mchango huu husawirika namna na nitrogen pekee kwa hivyo ongeza mboleo za aina nyingine kwa ulongo.

STORE THIS PACKET UNDER COOL PLACE UNTIL USE
WEKA PAKITI HII PAHALI PASIPO JOTO AU JUA KALI

LOS MIRCEN DE LA UNESCO

Una cooperación internacional

Objetivo: Lograr que los jóvenes científicos contribuyan al desarrollo de la investigación en sus propios países y fomentar la cooperación internacional trabajando con científicos destacados en cursillos de formación organizados por la Unesco

Mecanismos

1



MIRCEN

MIRCEN = Centros de Recursos Microbianos

Una red mundial

Objetivo: Acopiar, preservar y utilizar cepas microbianas con vistas al desarrollo nacional y a la cooperación internacional

2



GIAM

GIAM Reuniones de Científicos sobre las Consecuencias Planetarias de la Microbiología Aplicada

Objetivo: Intensificar la cooperación en materia de investigación entre países industriales y en desarrollo Promover la capacitación con vistas a la investigación y la formación en cada país

3 Cooperación con los organismos de las Naciones Unidas y con las organizaciones no gubernamentales

FAO Organización de las N.U. para la Agricultura y la Alimentación
PNUD Programa de las N.U. para el Desarrollo
PNUMA Programa de las N.U. para el Medio Ambiente
UNIDO Organización de las N. U. para el Desarrollo Industrial
ICRO* Organización Internacional de Investigaciones Celulares

FIC Fundación Internacional de la Ciencia
IOBB Organización Internacional para la Biotecnología y la Bioingeniería
IUMS Unión Internacional de Sociedades Microbiológicas
WFCC Federación Mundial para las Colecciones de Cultivos
* Grupo de Trabajo sobre Microbiología y Biotecnología

4 Cooperación con las organizaciones regionales

ALAR Asociación Latinoamericana de Rizobiología
AABNF Asociación Africana para la Fijación Biológica del Nitrógeno

CEC Comisión de las Comunidades Europeas
SANEM Red sobre Microbiología del Asia Sudoriental

regional en América Latina, África oriental y Asia sudoriental y el Pacífico, con apoyo de la FAO y del PNUMA.

En lo que se refiere a la fijación biológica del nitrógeno están ya en actividad cinco centros MIRCEN en Kenia, Brasil, Hawai y Beltsville (EUA) y Senegal. Entre las tareas generales que incumben a los centros de África oriental y occidental figuran las de reunir, catalogar, ensayar y distribuir cultivos de *Rhizobium* compatibles con los cultivos locales. Otras actividades de los centros son la propagación de las técnicas locales de inoculación de *Rhizobium* y el fomento de las investigaciones conexas. En la región se

presta asesoramiento y orientación a las personas e instituciones que se dedican a la investigación en rizobiología.

De modo similar, el centro MIRCEN de América Latina trata de contribuir a la identificación de germoplasma de leguminosas con elevada capacidad simbiótica y de los factores restrictivos del suelo; a la consecución de una selección óptima de variedades de *Rhizobium* que sean eficaces para la soja, el trébol, la alfalfa, el azufaífo loto, los guisantes, los frijoles y el grupo de caupís o judías de vaca; al perfeccionamiento de la producción de agentes inoculantes que puedan emplearse en parcelas de demostración y sirvan a los pequeños cultivadores; y al establecimiento de un control de calidad de los agentes inoculantes aplicable por los laboratorios privados y oficiales.

Los centros MIRCEN de Hawai y Beltsville, en los Estados Unidos, tienen por misión contribuir a atenuar la dependencia de los países en desarrollo con respecto a los abonos nitrogenados de origen químico. Para lograrlo se están llevando a cabo investigaciones con vistas a aportar una base de datos que permita evaluar la conveniencia de recurrir a las técnicas de fijación bioquímica del nitrógeno (FBN) basadas en las leguminosas; asimismo, se crean y se dan a conocer técnicas FBN ya ensayadas que se adecúan a las necesidades y a la situación peculiar de los países en desarrollo, y se facilitan servicios de apoyo.

Por otro lado, los centros MIRCEN de Kenia y Brasil intervienen en la producción de material inoculante para su experimen-

tación en leguminosas y para su uso por los agricultores.

En la actualidad se ha iniciado la producción de inoculantes en el centro de África oriental, con empleo de variedades ensayadas por agentes de los MIRCEN. Los agrónomos de la FAO especialistas en pastoreo que trabajan en Kenia han recibido inoculantes para once leguminosas forrajeras. En nombre del gobierno federal, el centro MIRCEN de Brasil se ocupa del control de calidad de los inoculantes producidos en el país; anualmente se procede al examen de un promedio de 100 muestras. Este servicio se presta también, con carácter limitado, a instituciones de países en desarrollo. Los centros MIRCEN de fijación biológica del nitrógeno desempeñan una valiosa función en relación con el mantenimiento y la distribución de cultivos eficaces de *Rhizobium*. En las colecciones de los MIRCEN se conservan más de 3.000 variedades. □

EDGAR J. DASILVA, microbiólogo indio, ha sido vicepresidente de la Federación Mundial de Colecciones de Cultivos. Ha publicado varios estudios sobre las aplicaciones biotecnológicas de los microorganismos y es miembro de la División de Investigación y Enseñanza Superior Científica de la Unesco, donde se ha ocupado de la creación y el desarrollo del programa MIRCEN de la Organización. **J. FREIRE**, brasileño, es director del MIRCEN y profesor de microbiología del suelo de la Universidad Federal de Río Grande do Sul, en Brasil. Es un pionero de la utilización de biofertilizantes en América del Sur y Central y ha sido consultor de la Unesco y de la FAO. **A. HILLALI**, marroquí, es rizobiólogo en el Instituto Agronómico y Veterinario Hassan II de Rabat y ha trabajado como investigador y como consultor en relación con las aplicaciones de los biofertilizantes rizobacterianos en el MIRCEN de África Occidental de Bambey, Senegal. **S.O. KEYA**, keniano, es director del MIRCEN de la Universidad de Nairobi, donde dirige el departamento de edafología y es decano de la Facultad de Agricultura. Pionero de la utilización de biofertilizantes en África, ha sido consultor de la Unesco y de la FAO.

Una especialista del Centro de Recursos Microbianos (MIRCEN) del Brasil, patrocinado por la Unesco, prepara los materiales para un cursillo de formación sobre identificación de bacterias para la producción de fertilizantes.



Foto © J. Freire, Universidad de Río Grande do Sul, Brasil



La biotecnología y el Tercer Mundo

por Albert Sasson

LA biotecnología tiene mucho que ofrecer a los países en vías de desarrollo. Su aplicación a la agricultura, a la horticultura y a la silvicultura puede contribuir de manera importante al mejoramiento de las plantas agrícolas y a la protección de las especies amenazadas de extinción. Pero hay que estudiar con sumo cuidado como elegir las técnicas más convenientes y como transferirlas y adaptarlas a las diversas situaciones.

Procedimientos tales como el cultivo de tejidos vegetales y la ingeniería genética son sólo herramientas no soluciones para los problemas sociales. Por ejemplo, la sustitución de variedades tradicionales de plantas cultivadas por otras nuevas puede producir desempleo si el cultivo de esas nuevas variedades requiere menos mano de obra. Por otro lado, la investigación en materia de biotecnología tiende a satisfacer esencialmente las necesidades de los mercados internacionales más bien que las propias de los países en desarrollo. Además, como son los grandes terratenientes quienes poseen los recursos financieros y de gestión necesarios para poder aprovechar las innovaciones tecnológicas, es normal que sea a ellos y no a los pequeños agricultores a quienes favo-

En un laboratorio de Kuala-Lumpur tres especialistas malayas se ocupan de cultivos in vitro en el marco de un proyecto para obtener palmas de aceite de calidad superior.

rezca la aplicación de la biotecnología a la agricultura.

Hay muchas posibilidades de que los países pobres en general no sólo obtengan escasos beneficios de la revolución biotecnológica sino que su economía se vea indirectamente perjudicada por la aparición de nuevos productos (como los edulcorantes artificiales) que vendrán a competir con los que integran tradicionalmente sus exportaciones. Se corre el peligro de que el foso tecnológico entre los países ricos y los pobres aumente aun más. Debemos pues plantearnos una serie de interrogantes sobre el carácter de la "Revolución Biotecnológica" y sus consecuencias económicas, sociales y geopolíticas a largo plazo; y hay que definir una estrategia para que los beneficios se distribuyan equitativamente tanto entre los diversos países como entre los grupos sociales dentro de cada país.

La "Revolución Biotecnológica" es irreversible, aunque sólo sea por los éxitos

comerciales que ya se han conseguido y por la importancia de las inversiones realizadas en las diversas esferas de aquella. Se ha calculado que la venta de productos derivados de la aplicación de la biotecnología sólo a los alimentos y a la agricultura puede representar en el año 2000 una cifra de 50.000 a 100.000 millones de dólares.

De llevar adelante la "Revolución Verde" se encargó esencialmente el sector público, que posibilitó el libre intercambio de nuevas cepas vegetales elaboradas sobre todo en los centros internacionales de investigaciones agronómicas patrocinados por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En cambio, el impulso esencial de la "Revolución Biotecnológica" proviene del sector privado, aunque buena parte de las investigaciones fundamentales se lleven a cabo en las universidades y en los servicios públicos de agricultura y silvicultura.

La privatización de los resultados de la investigación en materia de tecnología significa que esos resultados quedan excluidos del corpus de saberes científicos y técnicos que están a disposición de todos por ser parte del patrimonio común de la humanidad. Además, los centros de investigacio-

Revolución verde y bio-revolución

Características	Revolución verde	Bio-revolución
Cultivos afectados	Trigo, arroz, maíz	Potencialmente, todos, incluidos las verduras, frutas, cultivos de agroexportación (por ej., palmeras aceiteras, cacao) y cultivos especiales (por ej., especias aromáticas)
Otros productos afectados	Ninguno	Productos animales y farmacéuticos, elaboración de alimentos, energía
Zonas afectadas	Algunas en ciertos países en desarrollo (por ej., si acompañadas por riego, tierras de alta calidad, disponibilidad de transporte, etc.)	Todas, incluidas las tierras marginales (caracterizadas por la sequía, la salinidad, la toxicidad por aluminio, etc)
Desarrollo y difusión de la tecnología	En gran medida por el sector público o semipúblico	Mayormente por el sector privado (empresas multinacionales y firmas nuevas)
Propiedad	Patentes y protección de la variedad de plantas generalmente poco importantes	Procedimientos y productos patentables y protegibles
Costo financiero de la investigación	Bajo	Alto
Capacitación exigida	Reproducción tradicional de plantas y ciencias agrícolas paralelas	Especialización en biología celular y molecular, más capacitación general en reproducción de plantas
Cultivos desplazados	Ninguno (excepto los recursos en germoplasma representados por las variedades tradicionales y las razas nativas)	Potencialmente, todos

Fuente: Cérés, FAO / Buttel et al

nes del sector público y los organismos que los subvencionan tienden a crear patentes, contribuyendo así a privatizar los resultados de la investigación.

La tendencia creciente a conceder patentes a los criadores de plantas como medio de proteger la elaboración de nuevas cepas suscita general inquietud en los países en desarrollo, que consideran tales medidas como obstáculos puestos a su empeño por aumentar su producción agrícola.

La adopción de disposiciones legislativas para proteger a los criadores de plantas mediante patentes (es decir concediendo a los especialistas en genética vegetal y a las compañías que subvencionan sus investigaciones derechos exclusivos de producción y comercialización sobre las nuevas variedades) ha incitado a las empresas multinacionales y a varios grandes grupos nacionales de productos químicos y farmacéuticos a comprar empresas de comercialización de semillas y a adquirir una participación mayoritaria en firmas dedicadas a la selección de variedades y a la investigación sobre genética vegetal. En Europa occidental y América del Norte las principales empresas petroquímicas y farmacéuticas multinacionales han alcanzado una posición dominante en este campo.

Una de las razones que explican esa tendencia radica en las funciones complementarias que desempeñan las semillas, los abonos, los plaguicidas y los medicamentos para animales en el incremento de la producción agrícola. Una empresa puede de este modo ejercer su influencia sobre la cadena entera de la producción.

El mercado de semillas seleccionadas alcanza la cifra anual de 12.000 millones de dólares, de ellos 2.000 millones para las semillas híbridas de maíz y de sorgo y 1.000 millones para las de avena, soja y algodón. El dominio de las firmas multinacionales y de otros grandes grupos industriales sobre las empresas de semillas va a fomentar lógicamente el establecimiento de monopolios y a reducir drásticamente el papel del sector público en la selección de plantas.

Entre las medidas que adoptan los países tecnológicamente avanzados para proteger los resultados de investigaciones cada vez más costosas en materia de genética vegetal y para garantizar la utilidad práctica de esas investigaciones figura el pago de derechos, a cargo sobre todo de los países en desarrollo, por las variedades de semillas desarrolladas en los países industrializados. Estos propenden también a utilizar sus colecciones de germoplasma con fines comerciales; el sector privado desempeña un papel de creciente importancia en relación con el acopio, preservación y uso del germoplasma.

Son muchos los países en desarrollo que carecen de los recursos financieros y técnicos para crear colecciones de semillas o para conservar esas colecciones en condiciones satisfactorias. La única solución que les queda es comprar nuevas cepas seleccionadas de variedades que se han cultivado o que se han vuelto silvestres en su propia región. Esas variedades han sido quizá domesticadas, cultivadas y mejoradas por numerosas generaciones de campesinos de los países pobres antes de cruzarse con otras

variedades protegidas por patentes y vendidas en sus países de origen como "nuevas y diferentes". Esta paradójica situación pone en tela de juicio la validez del sistema de patentes, ya que conceder derechos de propiedad a quienes han mejorado recientemente el patrimonio genético de una planta equivale a olvidar los esfuerzos de cuantos modificaron anteriormente la planta y sacaron provecho de ella.

"El Norte puede ser rico en grano, pero el Sur lo es en genes". En efecto, los recursos genéticos de la mayoría de las plantas agrícolas se encuentran en los países en desarrollo, especialmente en los trópicos, pero las actividades de selección y mejoramiento relativas a esas plantas se desarrollan principalmente en los países industrializados. Según la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), en 1982 los países del Tercer Mundo contribuían con unos 500 millones de dólares anuales a la cosecha de trigo de los Estados Unidos. Tal contribución era el resultado del empleo de recursos fitogenéticos originarios de los países en desarrollo que son indispensables para el mejoramiento de las plantas agrícolas y para la selección de variedades en los Estados Unidos y en los demás países industrializados.

Dada la importancia de esos recursos fitogenéticos, los países pobres se disponen a protegerlos —por ejemplo, impidiendo la exportación de material reproductor de las plantas. Por otro lado, piensan que el precio de venta de las variedades de semillas seleccionadas y mejoradas a partir de sus propias reservas fitogenéticas es excesivo y que



Foto PNUMA/De Silva

resulta injusto que, de tal modo, tengan que pagar indirectamente una parte de su propio patrimonio fitogenético.

Ante el riesgo de que disminuya la variedad genética, unido al problema de las prácticas restrictivas en punto a la distribución del material necesario para el mejoramiento de las plantas de cultivo, se está intentando elaborar un acuerdo internacional sobre conservación de los recursos fitogenéticos, considerados como parte del patrimonio de la humanidad, y sobre su equitativa utilización, impidiendo que ésta sea regulada exclusivamente por los diversos fueros nacionales. Si los países industrializados desean tener acceso a las reservas fitogenéticas de los países en desarrollo y utilizar las robustas cepas locales que allí existen, éstos últimos desean a su vez aprovechar los servicios que ofrecen los bancos de genes del mundo avanzado y establecer su soberanía nacional sobre las plantas que han crecido en su territorio.

De este modo, los problemas de la conservación de los recursos fitogenéticos y del acceso a los mismos han alcanzado una dimensión geopolítica, todo ello en el marco del debate sobre el aprovechamiento de los recursos terrestres en beneficio de toda la humanidad. En noviembre de 1981 una resolución presentada por México a la 21ª Conferencia de la FAO pedía al director general de la organización que preparara un proyecto de convención internacional sobre conservación de los recursos fitogenéticos con vistas a incrementar la producción agrícola, sobre la eliminación de los obstáculos que se oponen a la libre distribución del

material vegetal y sobre el mejoramiento de la cooperación internacional en este ámbito.

Así, en noviembre de 1983 se sometía a la 22ª Conferencia de la FAO un proyecto de convención internacional entre cuyas disposiciones figuraba una prohibiendo el establecimiento de restricciones a la disposición o intercambio de material fitogenético para la agricultura y la producción de alimentos.

Los 156 países representados en la Conferencia afirmaban que "los recursos vegetales son parte del patrimonio común de la humanidad y se debe poder tener acceso a ellos sin restricción alguna". En esos recursos se incluyen las especies silvestres o las que se hallan próximas a las variedades cultivadas, las cuales deben ser catalogadas y protegidas por estar amenazadas de extinción, así como las variedades y cepas cultivadas más recientes gracias a las cuales pueden producirse semillas de variedades híbridas más productivas.

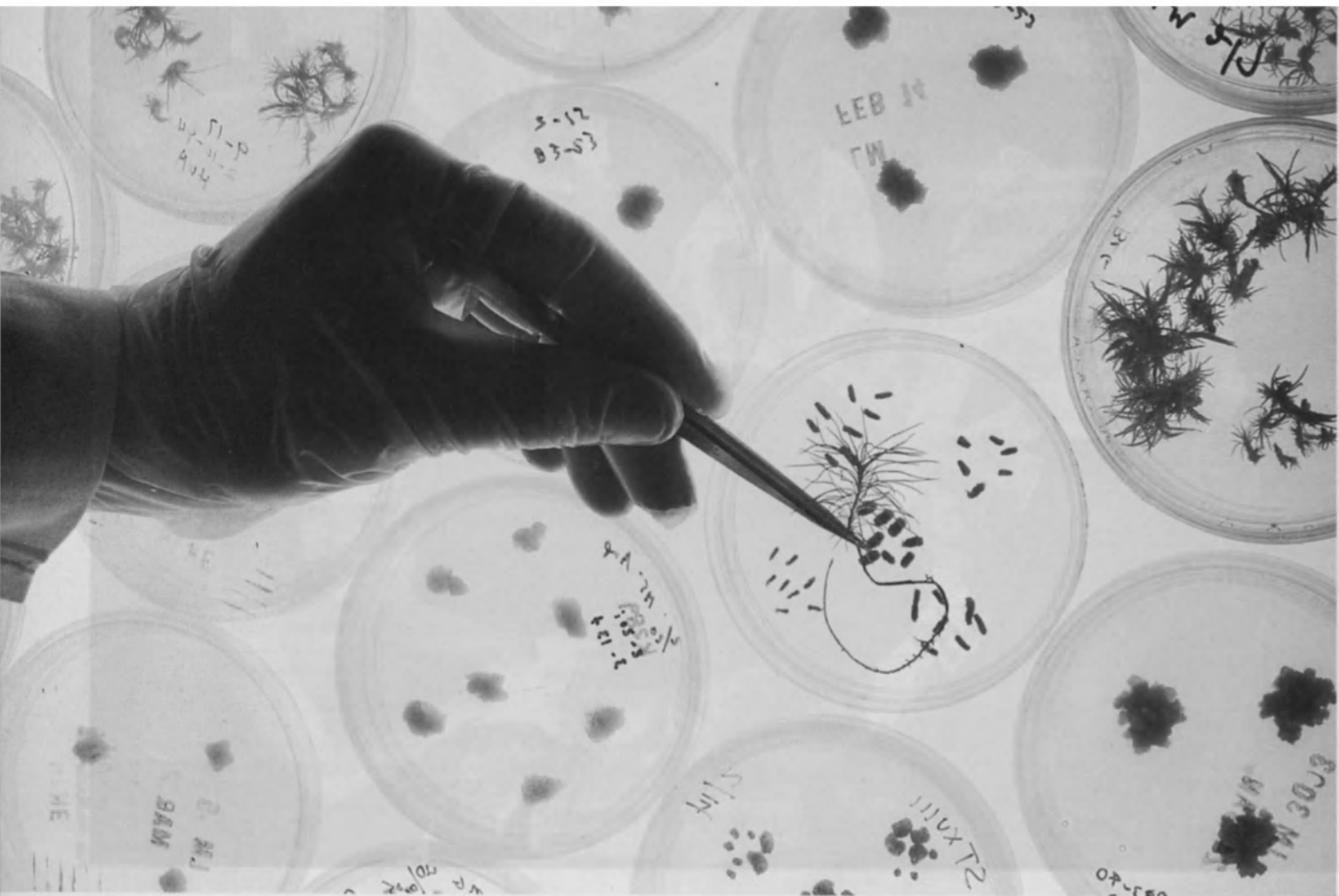
En noviembre de 1985, durante la 23ª Conferencia de la FAO, los países industrializados se opusieron a la creación de un dispositivo internacional que garantice el libre intercambio de los recursos fitogenéticos y suprima el pago de derechos por las variedades seleccionadas en los países industrializados. Es de suponer que, con ello, la información genética necesaria para el mejoramiento de las plantas agrícolas se va a convertir en un bien comercial sometido a la competencia entre las empresas de semillas, entre los diversos países y entre unas y otros.

Unos obreros rematan una bóveda de un digester para la producción de biogás en China. Con más de 7 millones de digestores de este tipo, China ocupa el primer puesto mundial en esta esfera de la producción de energía.

Pero cabe también esperar que se llegue a un compromiso entre el legítimo deseo de recompensar el ingenio y la inteligencia humanos concediendo patentes a quienes se dedican a la selección de plantas en los países industrializados y la necesidad que tienen los países en desarrollo de obtener variedades seleccionadas a un precio compatible con la limitación de sus medios y los imperativos de su desarrollo agrícola. Desde un punto de vista ético sería también legítimo que, al venderse a los países en desarrollo variedades de semillas seleccionadas a partir de sus propias plantas de cultivo, se tomara en consideración la labor de las generaciones de agricultores que han contribuido al mejoramiento de esas plantas.

Mientras tanto, es mucho lo que se puede hacer para aplicar la biotecnología a la agricultura, a la horticultura y a la silvicultura de los países del Tercer Mundo.

En primer lugar, en cada uno de esos países deben tomarse medidas con vistas a establecer unas prioridades y unos objetivos económicos que permitan obtener el máximo beneficio de los recursos existentes. Habría que determinar claramente qué procesos biotecnológicos son los más ade-



cuados a las necesidades sociales y económicas de la nación y hacer el inventario de los recursos locales.

En segundo lugar, los países en desarrollo deben abstenerse de rivalizar, al menos en un principio, con los industrializados en esferas tan avanzadas como las de la transferencia de genes y la ingeniería genética. En cambio, deben concentrarse en otras técnicas más sencillas como el cultivo de tejidos vegetales, el de meristema (ver pág. 6) y el de órganos vegetales con vistas a la rápida propagación vegetativa de las cepas más útiles y al aislamiento de cepas exentas de virus. Su interés está en adoptar y aplicar en la escala adecuada una biotecnología barata y de probada eficacia que sea fácil de transferir y de adaptar a las condiciones locales.

En tercer lugar, no debe considerarse la biotecnología como el único medio de mejorar las especies de plantas agrícolas sino como un complemento a las técnicas de hibridación y a los métodos agrarios eficaces. Su éxito en el mundo en desarrollo dependerá en amplia medida de que se la asocie estrechamente con los métodos clásicos de cruzamiento y de mejora de las plantas, con los programas de formación agraria, con la fijación de precios remuneradores para los productos agrícolas y con la existencia de buenas redes comerciales para éstos.

En cuarto lugar, la elección de una biotecnología adecuada no significa que tengamos que resignarnos a aceptar una división

internacional en ese campo: biotecnología avanzada para los países tecnológicamente avanzados, biotecnología anticuada para los subdesarrollados. En cada situación concreta debe darse una variedad de procedimientos biotecnológicos, más o menos avanzados y complejos. Y al estudiar las necesidades locales, la comunidad científica y técnica de cada país ha de tomar en consideración las novedades internacionales en materia de biotecnología y ser capaz de utilizar las técnicas más avanzadas o de adaptarlas a los proyectos de desarrollo.

Cualesquiera que sean las opciones que se hagan con vistas al desarrollo de la biotecnología, la enseñanza y la formación profesional habrán de desempeñar un papel esencial. Situándose como se sitúa en la encrucijada de varias disciplinas de las ciencias de la vida (genética, bioquímica, fisiología y microbiología) y de la ingeniería (técnicas de fermentación, automatización de las técnicas de producción, microbiología química e industrial), la biotecnología requiere que existan programas de formación interdisciplinarios y que se aplique un enfoque integrado.

Los países en desarrollo sufren de una crónica escasez de especialistas y de biotecnólogos. De acuerdo con un estudio realizado, en 1983 había 23.000 investigadores en biotecnología en los Estados Unidos, 12.000 en la Unión Soviética, 8.000 en el Japón, 3.400 en el resto de Asia, 1.900 en América Latina y 400 en África.

No cabe la menor duda de que la coope-

Del tubo de ensayo

al bosque

La biotecnología abre nuevas posibilidades para la silvicultura en los países en desarrollo. Las técnicas de cultivo de tejidos in vitro (arriba) permiten la rápida producción de ejemplares selectos genéticamente uniformes que después se someten a prueba en el laboratorio exterior que es el bosque. A la derecha, estos plantíos de eucaliptos de una región del Congo que se extienden hasta el horizonte se han criado a partir de clones de ejemplares híbridos cuidadosamente seleccionados.

ración internacional y regional pueden contribuir grandemente a promover la transferencia de biotecnología y la realización de sus promesas en el mundo en desarrollo, así como a resolver los problemas éticos que la cuestión plantea. Los países de una determinada región deberían poder llevar a cabo investigaciones conjuntas en materias de interés común y obtener así resultados que pudieran aplicarse en varios países. Habría que esforzarse en promover la cooperación entre países en desarrollo e industrializados, incluidas las empresas y establecimientos del sector privado existentes en ellos. Se dan ya ejemplos de tal cooperación. Citemos la producción de vacunas contra las enfermedades de los pies y de la boca en Botswana con la cooperación de la empresa Rhône-Mérieux de Francia; la producción de biogás a partir de los desechos gracias a la cooperación entre la India, China y varios países en desarrollo; y la clonación de la palma de aceite y la creación de plantaciones con una nueva variedad de este árbol en la Costa del Marfil, Malasia e Indonesia en cooperación con el Centro Francés de Investigaciones Científicas y Técnicas en Ultramar y el Instituto Francés de Investigaciones sobre el Petróleo y las Sustancias Productoras de Petróleo.

Las organizaciones internacionales no gubernamentales proporcionan a los gobiernos servicios de asesoramiento con vistas a la formulación de una política y unos programas nacionales en el campo de la biotecnología, al mismo tiempo que

fomentan las investigaciones y otras actividades conjuntas entre países en desarrollo e industrializados e impulsan a los investigadores y técnicos de todos los países a participar en tales labores, fortaleciendo las actividades de investigación y los servicios de formación de cada país.

Desde el principio, la Unesco ha hecho hincapié, dentro de sus programas científicos, en la cooperación internacional en materia de investigaciones y de formación sobre las ciencias de la vida. Ya tempranamente destacó la Organización la importancia de las investigaciones sobre microorganismos y emprendió un programa de microbiología aplicada. En 1962 patrocinó la creación de la Organización Internacional de Investigaciones Celulares (ICRO) y en 1972 inició conjuntamente con la ICRO y con el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) un programa mundial encaminado a proteger el patrimonio genético de los recursos microbiológicos y a poner ese patrimonio a disposición de los países en desarrollo. Por último, en 1975 la Unesco emprendió la creación de una red mundial de centros de recursos microbianos (MIRCEN) de que trata el artículo de la pág. 27.

Tras la adopción por la Unesco de su segundo Plan a Plazo Medio (1984-1989), se intensificaron las actividades de formación, investigación y cooperación internacional en materia de microbiología aplicada, extendiéndose al ámbito de la biotecnología. Actualmente, en cooperación con la

FAO, la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (UNIDO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y otros organismos especializados del sistema de las Naciones Unidas y con organizaciones internacionales no gubernamentales, la Unesco prosigue su labor en el marco de un esfuerzo más amplio con vistas a conseguir que los países en desarrollo contribuyan al progreso de los conocimientos científicos y se beneficien debidamente de él. □

ALBERT SASSON, microbiólogo marroquí, es doctor en ciencias naturales por la Universidad de París. De 1954 a 1973 trabajó en la Facultad de Ciencias de Rabat (Marruecos), realizando investigaciones sobre la algología, la microflora de las tierras áridas y los microorganismos que fijan el nitrógeno. Miembro de la Secretaría de la Unesco desde 1974, el Dr. Sasson ha escrito numerosos libros y estudios sobre biología, microbiología y biotecnología y su aplicación al desarrollo, en particular *Las biotecnologías: desafíos y promesas* (Unesco, 1984), publicado hasta ahora en español, francés, inglés, italiano, chino y ruso, y de próxima aparición en búlgaro, portugués y rumano. Es autor asimismo de *Quelles biotechnologies pour les pays en développement* (Unesco) (*Qué biotecnologías para los países en desarrollo*), libro del que se ha adaptado el presente artículo. Su última obra es *Nourrir demain les hommes* (*Alimentar mañana a los hombres*), publicado por la Unesco en 1986.



Breve glosario de biotecnología

Acido desoxirribonucleico (ADN): es el material genético que se encuentra en todo organismo viviente. Toda característica hereditaria tiene de alguna manera su origen en la clave del ADN de cada individuo.

ADN recombinado: ADN híbrido producido por la unión, *in vitro*, de ADN de organismos diferentes.

Aerobio: lo que vive o actúa sólo en presencia del oxígeno.

Agente patógeno: agente productor de enfermedades; en general se limita a los agentes vivientes, como las bacterias o los virus.

Biomasa: toda materia orgánica creada por conversión fotosintética de la energía solar.

Biotecnología: se dice de las técnicas que utilizan organismos vivos o sustancias derivadas de ellos para fabricar o modificar un producto; comprende las técnicas empleadas para mejorar los caracteres de plantas y animales importantes desde el punto de vista económico y para crear microorganismos que actúen sobre el medio ambiente.

Callo: masa indiferenciada de células que constituye la primera etapa en la regeneración de plantas a partir del cultivo de tejidos.

Célula: es la unidad estructural más pequeña de materia viviente capaz de funcionar independientemente; consiste en una masa microscópica de protoplasma envuelta por una membrana semipermeable, consta generalmente de uno o varios núcleos y de diversos productos no vivos y, por sí sola o en interacción con otras células, puede desempeñar todas las funciones fundamentales de la vida.

Célula germen: son las células reproductivas masculina y femenina, el huevo y el espermatozoide.

Citoplasma: es la parte "líquida" de una célula que se encuentra en el exterior del núcleo y lo rodea.

Clon: grupo de células u organismos idénticos desde el punto de vista genético producidos por multiplicación asexual a partir de un antepasado común.

Compuestos orgánicos: se llama así a las moléculas que contienen carbono.

Cromosomas: estructuras cuneiformes situadas en el núcleo de una célula que almacenan y

transmiten información genética; es la estructura física portadora de los genes. Los cromosomas están compuestos esencialmente de ADN y proteína y contienen la mayor parte del ADN de la célula. Cada especie tiene un número característico de cromosomas.

Cultivo de células: es el crecimiento *in vitro* de células aisladas de organismos pluricelulares. Estas células suelen ser de un solo tipo.

Especie: subdivisión taxonómica del género. Grupo de individuos relacionados estrechamente y similares desde el punto de vista morfológico que se cruzan o pueden cruzarse.

Fermentación: proceso biológico anaerobio que se emplea en diversos procedimientos industriales para la fabricación de productos como los alcoholes, los ácidos y los quesos mediante la acción de las levaduras, mohos y bacterias.

Fijación del nitrógeno: es la conversión del nitrógeno atmosférico en una combinación química, el amoníaco (NH₃), esencial para el crecimiento. Sólo un número limitado de microorganismos son capaces de fijar el nitrógeno.

Fusión de células: es la formación de una sola célula híbrida con núcleos y citoplasma procedentes de células distintas.

Fusión de protoplasma: unión de dos células en laboratorio.

Gen: es la unidad básica de la herencia; consiste en una secuencia ordenada de bases nucleótidas, entre las que figura un segmento de ADN.

Genoma: es la dotación genética de un organismo o individuo.

Genotipo: es la estructura genética de un organismo determinado.

Germoplasma: es la variabilidad genética total propia de una especie.

Híbrido: es el descendiente de progenitores disímiles desde el punto de vista genético (por ejemplo, una nueva variedad vegetal o animal que resulta del cruzamiento de dos variedades distintas preexistentes; la célula derivada de dos líneas de células cultivadas diferentes que se fusionan).

In vitro: textualmente "en vidrio"; se refiere a la reacción biológica que se produce en un aparato artificial; a veces se aplica también la expresión

para designar la producción de células de organismos pluricelulares en condiciones de cultivo celular.

Medio de cultivo: todo sistema nutritivo apto para el cultivo artificial de bacterias u otras células; en general se trata de una mezcla compleja de materias orgánicas e inorgánicas.

Meristema: es el tejido vegetal indiferenciado del que nacen las nuevas células.

Metabolismo: abarca los procesos físicos y químicos en virtud de los cuales los alimentos se sintetizan en elementos complejos, las sustancias complejas se transforman en otras simples y se produce la energía que requiere un organismo.

Molécula: es un grupo de átomos que se mantienen reunidos en virtud de fuerzas químicas; la unidad mínima de materia que puede existir por sí misma y conservar su identidad química.

Mutagénesis: es la mutación inducida que se practica en el material genético de un organismo; los investigadores pueden servirse de medios físicos o químicos para producir mutaciones que mejoren la capacidad productiva de los organismos.

Nódulo: es la parte anatómica de una raíz vegetal en la que se mantienen las bacterias fijadoras del nitrógeno, en relación simbiótica con la planta.

Núcleo: cuerpo esférico relativamente voluminoso que se encuentra en el interior de una célula y contiene los cromosomas.

Propagación vegetativa: es la reproducción de plantas sin empleo de semillas, es decir dividiendo una parte del cuerpo de la planta. Desde el punto de vista genético las nuevas plantas son idénticas a sus progenitoras.

Vector: Molécula de ADN utilizada para introducir ADN extraño en una célula huésped. Entre los vectores figuran los plasmidios, los bacteriófagos (virus) y otras formas de ADN. Un vector debe tener capacidad de replicación autónoma y disponer de puntos de clonación para la introducción del ADN extraño. □

Las definiciones que aquí se dan provienen en gran parte del glosario publicado en el Boletín ATAS (1 de nov. de 1984) que elabora el Centro de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo de las Naciones Unidas, Nueva York.

Tarifas de suscripción:

1 año: 90 francos franceses (España: 2.385 pesetas IVA incluido).
Tapas para 12 números (1 año): 62 francos.
Reproducción en microfilm (1 año): 150 francos.

Redacción y distribución:

Unesco, Place Fontenoy, 75700 París.

Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar "De El Correo de la Unesco", el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a El Correo tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco ni de la Redacción de la Revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de ésta. Por último, los límites que figuran en los mapas que se publican ocasionalmente no entrañan reconocimiento oficial alguno por parte de las Naciones Unidas ni de la Unesco.

La correspondencia debe dirigirse al director de la revista.

El Correo



Redacción (en la Sede, París):

Subjefe de redacción: Olga Rodel
Secretaría de redacción: Gillian Whitcomb
Español: Francisco Fernández-Santos
Francés: Alain Lévêque
Neda el Khazen
Inglés: Roy Malkin
Caroline Lawrence
Ruso: Nikolai Kuznetsov
Arabe: Abdelrashid Elsadek Mahmudi
Braille: Fredenck H. Potter
Documentación: Violette Ringelstein
Ilustración: Ariane Bailey
Composición gráfica: Georges Servat,
George Ducret
Promoción y difusión: Fernando Ainsa
Ventas y suscripciones: Henry Knobil
Proyectos especiales: Peggy Julien

Ediciones (fuera de la Sede):

Alemán: Werner Merkl (Berna)
Japonés: Seiichiro Kojima (Tokio)
Italiano: Mario Guidotti (Roma)
Hindi: Ram Babu Sharma (Delhi)
Tamul: M. Mohammed Mustafa (Madrás)
Hebreo: Alexander Broid (Tel-Aviv)
Persa:
Portugués: Benedicto Silva (Río de Janeiro)
Neerlandés: Paul Morren (Amberes)
Turco: Mefra Ilgazer (Estambul)
Urdu: Hakim Mohammed Said (Karachi)
Catalán: Joan Carreras i Martí (Barcelona)
Malayo: Azizah Hamzah (Kuala Lumpur)
Coreano: Paik Syeung-Gil (Seúl)
Swahili: Domno Rutayebesibwa (Dar es Salam)
Croata-serbio, esloveno, macedonio y serbio-croata: Bozidar Perkovic (Belgrado)
Chino: Shen Guofen (Pekín)
Búlgaro: Goran Gotev (Sofía)
Griego: Nicolas Papageorgiu (Atenas)
Cingalés: S.J. Sumanaskara Banda (Colombo)
Finés: Marjatta Oksanen (Helsinki)
Sueco: Lina Svenzén (Estocolmo)
Vascuence: Gurutz Larrañaga (San Sebastián)
Tailandés: Savitri Suwansathit (Bangkok)

Números recientes de El Correo de la Unesco sobre temas científicos:

Historia de la Tierra (julio de 1986)

Los océanos. Un nuevo mundo que descubrir (febrero de 1986)

El agua, esa maravilla (enero de 1985)

Historia del Universo (septiembre de 1984)

Próximos números:

Medicinas del mundo

Genética y sociedad

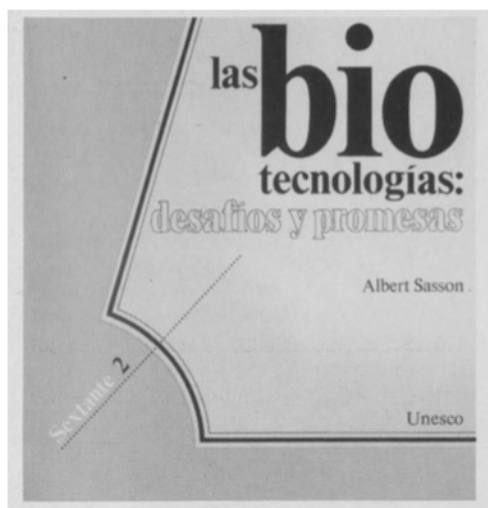
Las biotecnologías: desafíos y promesas es un amplio estudio, al alcance del público lector, de las últimas novedades en materia de biotecnología. El libro de Albert Sasson pone de relieve las promesas que entrañan las nuevas técnicas y el papel que la cooperación internacional puede desempeñar en su realización. Examina también los intereses conflictivos y los problemas que engendra la nueva tecnología en el desarrollo industrial, su transferencia a los países menos desarrollados y su adaptación a las diversas situaciones económicas, sociales y culturales.

El contenido es, sucintamente, el siguiente:

- Naturaleza y variedad de los procesos biotecnológicos
- Recombinaciones genéticas y campos de aplicación
- Hibridomas
- Las biotecnologías y el aumento de la productividad de los vegetales
- Producción de sustancias útiles por medio de microorganismos
- Conversión de desechos y subproductos agrícolas e industriales por los microorganismos
- Producción de energía por los microorganismos a partir de la biomasa
- Desarrollo de la bioindustria

315 páginas, fotos, dibujos y gráficos 85 francos franceses

Existe también en edición francesa e inglesa.



Para renovar su suscripción y pedir otras publicaciones periódicas de la Unesco

Pueden pedirse las publicaciones periódicas de la Unesco en las librerías o directamente al agente general de la Organización. Los nombres de los agentes que no figuren en esta lista se comunicarán al que los pida por escrito. Los pagos pueden efectuarse en la moneda de cada país.

ARGENTINA. Librería El Correo de la Unesco, EDILYR S R L., Tucumán 1685 (P.B. "A") 1050 Buenos Aires.

Correo Argentino	CENTRAL (B)	Tarifa reducida Concesión N° 274
		Franqueo pagado Concesión N° 4074

BOLIVIA. Los Amigos del Libro, casilla postal 4415, La Paz; Avenida de las Heroínas 3712, casilla postal 450, Cochabamba.

BRASIL. Fundação Getúlio Vargas, Editora-Divisão de Vendas, caixa postal 9.052-ZC-02, Praia de Botafogo 188, Rio de Janeiro, R.J. (CEP 20000). Livros e Revistas Técnicos Ltda., Av. Brigadeiro Faria Lima 1709, 6° andar, Sao Paulo, y sucursales: Rio de Janeiro, Porto Alegre, Curitiba, Belo Horizonte, Recife.

COLOMBIA. Instituto Colombiano de Cultura, carrera 3ª, n° 18/24, Bogotá.

COSTA RICA. Librería Trejos, S A., apartado 1313, San José.

CUBA. Ediciones Cubanas, O'Reille 407, La Habana Para El Correo de la Unesco solamente: Empresa COPREFIL, Dragones 456, entre Lealtad y Campanario, La Habana 2.

CHILE. Editorial Universitaria, S.A., Departamento de Importaciones, casilla 10110, Santiago; Librería La Biblioteca, Alejandro I 867, casilla 5602, Santiago.

ECUADOR. Revistas solamente: DINACOUR Cía. Ltda., Santa Prisca 296 y Pasaje San Luis, oficina 101-102, casilla 112B, Quito.

ESPAÑA. MUNDI-PRENSA LIBROSS A., Castelló 37, Madrid 1; Ediciones LIBER, apartado 17, Magdalena 8, Ondárroa (Vizcaya).

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA. Bernan Associates-UNIPUB, Periodicals Department, 1033-F King Highway, Lanham MD 20706.

FRANCIA. Librairie de l'Unesco, 7, Place Fontenoy, 75700 Paris.

GUATEMALA. Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco, 3a Avenida 13-30, Zona 1, apartado postal 24, Guatemala.

MARRUECOS. Librairie "Aux Belles Images", 281, avenue Mohamed V, Rabat; El Correo de la Unesco para el personal docente. Comisión Marroquí para la Unesco, 19, rue Oqba, B.P. 420, Rabat (C.C.P. 324-45).

MEXICO. Librería El Correo de la Unesco, Actipán 66, Colonia del Valle, México 12, DF.

PANAMA. Distribuidora Cultura Internacional, apartado 7571, Zona 5, Panamá


PERU. Librería Studium, Plaza Francia 1164, apartado 2139, Lima.

PORTUGAL. Dias & Andrade Ltda., Livraria Portugal, rua do Carmo 70-74, Lisboa 1117 Codex.

PUERTO RICO. Librería Alma Mater, Cabrera 867, Río Piedras, Puerto Rico 00925.

URUGUAY. EDILYR Uruguay, S A., Maldonado 1092, Montevideo.

VENEZUELA. Librería del Este, avenida Francisco de Miranda 52, Edificio Galipán, apartado 60337, Caracas 1060-A.

The image is a false-color electron micrograph showing numerous circular and irregular DNA molecules of Escherichia coli. The DNA strands are depicted as bright yellow lines against a dark green background. The molecules vary in size and shape, with some appearing as simple closed loops and others as more complex, tangled structures. The overall appearance is that of a dense field of genetic material.

*Micrógrafo electrónico
en colores falsos del
ADN de la bacteria
Escherichia coli que se
utiliza corrientemente
en ingeniería genética
(ver página 13).*