

Técnicas nucleares y desarrollo agrícola sostenible

Los laboratorios de Seibersdorf del OIEA contribuyen a la transferencia de tecnologías prácticas e inocuas para el medio ambiente

por
Pier Roberto
Danesi

Durante los últimos años se han utilizado tanto la frase "desarrollo sostenible" que a veces se ha convertido en una simple y vacua consigna para atraer la atención respecto de algunas de las nuevas iniciativas de desarrollo. Uno de los propósitos que se ha perseguido es hacer que los nuevos proyectos tecnológicos resulten más atractivos y fáciles de vender en la medida en que se alega que fomentan el crecimiento material y a la vez ser "ambientalmente inocuos".

Sería conveniente hacer algunas aclaraciones.

Según la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (el Informe Brundtland), desarrollo sostenible es "aquél que responde a las necesidades del presente sin poner en peligro la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades". Sin embargo, como señalan algunos observadores, esta definición no es nueva, y de cierta forma es imprecisa, ambigua y bastante incompleta. Se ha recalado, por ejemplo, que "sostenible" no significa "sostenido" y que "desarrollo" no entraña por fuerza "crecimiento económico" a escala mundial. Además, se ha señalado que la expresión "crecimiento sostenible" es una contradicción en sí misma, ya que "sostenible denota un límite mientras que crecimiento significa incremento físico".*

Pese a esas críticas —gran parte de las cuales se basa en la teoría maltusiana de que la tierra y los recursos naturales limitan el crecimiento tanto de la economía como de la población— la idea del "desarrollo sostenible" como un crecimiento ilimitado del consumo ha resultado muy atractiva para el público. Esa atracción quizás se derive en parte del hecho de que en los últimos tiempos se ha puesto en tela de

juicio la teoría maltusiana al afirmarse que es posible hacer un uso más eficaz de los escasos recursos disponibles y lograr el desarrollo de sucedáneos más baratos.

No obstante, el crecimiento económico registrado sólo ha sido posible a costa de la constante degradación de los recursos del medio ambiente, lo que ha llegado hasta el punto de poner en grave peligro el sistema ecológico que sustenta la vida en el planeta. Por tanto, parece existir una diferencia fundamental entre la tierra y los recursos utilizados como materias primas en la producción, por una parte, y los recursos del medio ambiente, por la otra, en lo que concierne a su respuesta a las fuerzas del mercado. La mayoría de los recursos del medio ambiente, como el aire y el agua, de hecho se consideran bienes no comercializados. Además, resulta muy difícil aplicar normas reglamentarias en relación con el medio ambiente mundial. En este contexto quizás no se justifique el optimismo que se observa en los enfoques científicos y tecnológicos, que parecen verse algo limitados para hallar soluciones a los problemas.

La aplicación de una estrategia de desarrollo que integre la conservación y el crecimiento, satisfaga las necesidades humanas fundamentales, y mantenga la integridad ecológica, es un objetivo nada fácil. Los pronósticos demográficos indican que la población mundial, que hoy asciende a unos 5300 millones de habitantes, puede alcanzar en el próximo siglo la cifra de más de 10 000 millones de habitantes. Más del 90% de este crecimiento tendrá lugar en países donde el ingreso medio per cápita equivale a una décima parte de los países industrializados. Ello significa que para que el mundo en desarrollo —con menos posibilidades de arrostrar las consecuencias que tendría una explosión demográfica sobre los

El Dr. Danesi es Director de los Laboratorios del OIEA en Seibersdorf y Viena. También hicieron su contribución a partes de este artículo los señores Gingrich, Hussain, Novak y Zapata, miembros del personal de los Laboratorios del OIEA. El autor también desea agradecer los útiles comentarios hechos por los señores Danso, Hance, Klassen, Offori y Stich de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Agricultura y la Alimentación.

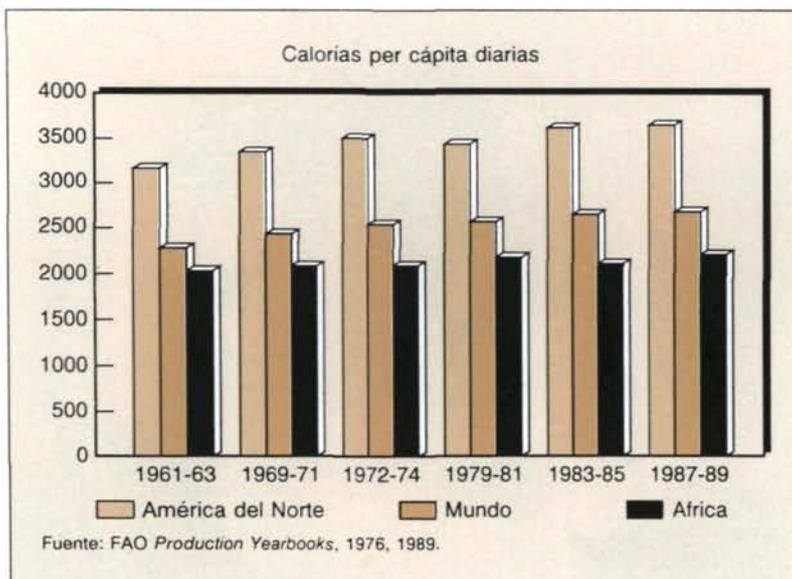
*Véase el comentario crítico de D. Brooks en el *IAALD Quarterly Bulletin XXXVI*, 4, (1991). El Informe de la Comisión Brundtland fue publicado bajo el título *Our Common Future, Report of the World Commission on Environment and Development*, Oxford University Press, Oxford (1987).

recursos y el medio ambiente— lograra sólo la tercera parte del nivel de ingresos per cápita de los países desarrollados, la economía mundial tendría que alcanzar un nivel treinta veces más alto durante los próximos 100 años. La magnitud de este problema se percibe claramente cuando se compara con los requisitos establecidos en el Informe Brundtland, a saber:

- el medio ambiente y sus recursos naturales deben reconocerse como el principal fundamento de todas las actividades del hombre, y su protección satisfactoria, como condición previa para el desarrollo,
- el flujo de sustancias, desde la etapa en que se utilizan como materia prima, pasando por su elaboración y producción, hasta que se consumen y evacúan como desechos, debe ciclarse tanto como sea posible, y
- la producción y el consumo de energía deben racionalizarse.

Esta breve reseña descriptiva quizás ayude a situar la función de la tecnología —y en particular de las técnicas nucleares y sus aplicaciones— en una perspectiva más definida. La función que desempeñan en el “desarrollo sostenible” puede considerarse una contribución a un esfuerzo polifacético. Este esfuerzo tiene por objeto compensar cuanto sea posible las limitaciones que tiene nuestro medio ambiente para aceptar el crecimiento en las regiones del mundo en que éste sea factible y necesario, y al menos mejorar la calidad de la vida cuando el consumo de bienes materiales y energía sean mucho más altos.

En el presente artículo se destaca la contribución que han hecho al desarrollo sostenible de la agricultura las diversas técnicas y métodos nucleares elaborados y promovidos por los laboratorios del OIEA en Seibersdorf y Viena. En el artículo complementario sobre este tema, que se publicará en la próxima edición del *Boletín del OIEA*, se pondrán de relieve las



actividades que llevan a cabo los Laboratorios en varias otras esferas del desarrollo sostenible desde el punto de vista ambiental.

Disponibilidad de alimentos en el mundo

Reseña de actividades

Los Laboratorios del OIEA apoyan muchos programas experimentales en física, química, edafología, biología y ciencias agrícolas. En esta última esfera se están haciendo importantes aportes al desarrollo sostenible en relación con la fertilidad del suelo, el riego y la producción de cultivos, la lucha contra insectos y plagas, la fitogenética y la genética,



Mercado de la India
(Cortesía: J. Marshall, OIEA)



Los científicos analizan los residuos de plaguicidas en los Laboratorios de Seibersdorf.

y los productos y residuos agroquímicos. Los trabajos incluyen, por ejemplo, la investigación sobre la aplicación de técnicas isotópicas para minimizar el uso de fertilizantes nitrogenados, y estudios sobre la aplicación de técnicas basadas en las radiaciones para erradicar o combatir las plagas de insectos mediante un método que reduzca el uso de plaguicidas.

En términos generales, las técnicas y los métodos nucleares que los Laboratorios apoyan con sus experimentos pueden agruparse en una de las tres categorías siguientes:

- **Técnicas para la vigilancia y evaluación de la contaminación medioambiental**, que comprenden el análisis de contaminantes no radiactivos y radiactivos con técnicas analíticas nucleares; la vigilancia de residuos de plaguicidas en los alimentos y el medio ambiente; y estudios climatológicos mediante el análisis de las concentraciones de isótopos presentes en las precipitaciones.

- **Técnicas para reducir las repercusiones que tiene el aumento de la productividad en el medio ambiente**, que incluyen la técnica de los insectos estériles para la lucha contra las plagas de insectos; estudios sobre la fijación del nitrógeno en cultivos y árboles para optimizar el uso de fertilizantes y combatir la desertificación; el empleo de trazadores para optimizar el uso de fertilizantes; y técnicas nucleares para mejorar las prácticas de ordenación de las aguas.

- **Técnicas para el desarrollo de recursos**, que abarcan el uso de isótopos para estudiar el origen y

circulación de las aguas; y el uso de la mutación radioinducida para obtener mejores cultivos.

En todas las esferas de actividad, los Laboratorios de Seibersdorf contribuyen a transferir técnicas y tecnologías seleccionadas a las instituciones nacionales, sobre todo de los países en desarrollo. Para ello se emplean tres enfoques fundamentalmente: la capacitación de científicos; la prestación de servicios de apoyo técnico y científico a los proyectos de cooperación técnica del OIEA; y la investigación y el desarrollo en apoyo de los programas coordinados de investigación del OIEA.

Técnicas nucleares en la agricultura

Antes de abordar la labor que desarrollan los Laboratorios de Seibersdorf en relación con las aplicaciones nucleares en la agricultura, quizás convenga analizar brevemente los principales aspectos del desarrollo agrícola a nivel mundial.

La producción de cereales —que proporcionan cerca de la mitad de las calorías que se consumen a escala mundial— aumentó de unos 700 millones de toneladas métricas en 1950 a más de 1800 millones de toneladas métricas en 1986, lo que representa un crecimiento de casi un 3% anual. Asimismo, durante el período 1965–1986 la cosecha de verduras, leguminosas y frutas creció en un 2,5% anual. Sin embargo, este aumento impresionante en la producción se ha obtenido, entre otras cosas, a expensas de un aumento nueve y 32 veces mayor, respectivamente, en el uso de fertilizantes químicos y plaguicidas.

Aunque teóricamente esta producción agrícola podría dar abasto a unos 6000 millones de personas, si se distribuyera equitativamente entre toda la población mundial, no se prevé que en el próximo decenio cambien drásticamente las enormes disparidades que existen tanto en la producción como en el consumo. La población de los países más ricos, que comprenden cerca del 20% de la población mundial, consume hoy por término medio 30% a 40% más calorías que las que necesita. En cambio, la población de los países más pobres consume como promedio 10% menos que el mínimo básico requerido, y más de 1000 millones de personas no reciben suficiente alimento para llevar una vida plenamente productiva.

Además, la cosecha mundial ha mostrado una tendencia a nivelarse durante los últimos siete años, luego de cuatro decenios de crecimiento. La producción de cereales per cápita ascendió a 345 kg en 1984, y descendió a 296 kg en 1988. Esta merma, que resulta particularmente nefasta cuando se compara con el rápido y creciente aumento de la población, se ha atribuido en parte al deterioro constante y permanente de las tierras agrícolas, a su uso excesivo y al agotamiento de sus nutrientes, la erosión del suelo y la desertificación.

Todos los años los agricultores pierden alrededor de 24 000 millones de toneladas métricas de tierra vegetal a nivel mundial, lo que equivale a la superficie que abarcan todos los campos de trigo de Australia. La Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha pronosticado que hacia el año 2000 la degradación del suelo hará que el 65% de todas las zonas agrícolas de riego pluvial resulten

improductivas. Además, todos los años se pierde 1,5 millón de hectáreas de tierras de regadío a causa de la salinización del suelo. Al analizar estas cifras también hay que tener en cuenta que las regiones áridas y semiáridas abarcan casi el 40% de la superficie terrestre del planeta en que habitan unos 700 millones de personas. Cerca del 60% de estas regiones están ubicadas en los países en desarrollo.

Dos problemas que se afrontan en el Cercano Oriente y la India demuestran la gravedad de la situación. En el Cercano Oriente, alrededor del 75% de los cultivos se desarrollan en zonas áridas o de riego pluvial, y se calcula que más del 70% del déficit en alimentos y pienso proyectado para el año 2000 sólo podrá cubrirse aumentando el rendimiento de las tierras agrícolas establecidas. Una situación parecida existe en la India, donde el 45% de toda la producción agrícola también proviene de zonas áridas. En este caso la producción debe incrementarse en un 60% hacia el año 2000 si se ha de suministrar suficientes alimentos y fibras a la población prevista de 1000 millones de habitantes.

Aunque gran parte del descenso registrado en la productividad agrícola puede atribuirse directamente al mayor uso de productos agroquímicos y aguas de regadío, el verdadero problema está en que se ha hecho un uso excesivo de las tierras marginales y los recursos hídricos, y en que ha aumentado drásticamente la contaminación ambiental debido al empleo indiscriminado de plaguicidas y fertilizantes. Por tanto, es imposible que el aumento de la producción agrícola se siga basando en el uso excesivo de productos agroquímicos. Tampoco es lógico pensar que la demanda de alimentos se pueda satisfacer evitando su uso: está previsto que hacia el año 2000 la población mundial se acercará a la cifra de 6300 millones de habitantes mientras que la superficie agrícola per cápita disminuirá de 3000 m² a 2000 m².

Lo que sí podemos hacer es luchar por que se haga un uso sensato de los productos químicos en el marco de un desarrollo sostenible, en que la producción se mantenga a un nivel proporcional con las necesidades de la población. Un aspecto particularmente importante que se deberá tener presente al idear sistemas agrícolas sostenibles será la disponibilidad de variedades de cultivo mejoradas, la aplicación de medidas eficaces de aprovechamiento del suelo y el agua para detener o, mejor aún, invertir la desertificación, y el uso juicioso de fertilizantes y plaguicidas.

Las actividades agrícolas que se llevan a cabo en los Laboratorios de Seibersdorf en apoyo del programa conjunto FAO/OIEA de alimentación y agricultura tienen que ver con muchos temas asociados al desarrollo de prácticas agrícolas más sostenibles. En las secciones que figuran a continuación se describen a grandes rasgos los trabajos en curso.

Fertilidad de suelos, riego y producción agrícola

Los radisótopos y los isótopos estables se utilizan para detectar, medir, o seguir el destino final de los fertilizantes aplicados al suelo, así como para deter-



Un científico de los Laboratorios de Seibersdorf estudia la *Azolla*, alga que puede servir como biofertilizante en los arrozales.

minar la disponibilidad de nutrientes del suelo, y su uso en las plantas. Las técnicas nucleares también se han empleado para determinar la humedad del suelo, y los isótopos estables, para evaluar el proceso natural de fijación del nitrógeno y así mejorarlo.

El examen de los problemas inherentes a la intensificación de los cultivos y a las mayores presiones que se ejercen sobre los escasos recursos de que se dispone en tierras agrícolas y forestales, ha puesto en claro que el nitrógeno es un elemento indispensable para atender en el futuro inmediato a las necesidades mundiales de alimentos, pienso, combustible y fibras. En consecuencia, a menudo se hace necesaria la aplicación de fertilizantes nitrogenados para obtener los niveles de producción agrícola deseados.

Con todo, los estudios han indicado que los cultivos sólo asimilan una parte del fertilizante aplicado al suelo y que el nitrógeno propio del suelo y el nitrógeno utilizado como fertilizante escapan en crecientes cantidades al medio ambiente como contaminantes, según los métodos de fertilización adoptados. La entrada de los compuestos nitrogenados en la tierra y las aguas superficiales contamina el agua potable y provoca la eutrofización de las masas de agua interiores. La liberación de compuestos de nitrógeno gaseoso también repercute negativamente en el medio ambiente mediante procesos químicos y microbiológicos como la volatilización del amoníaco, la formación de óxidos de nitrógeno, y la desnitrificación. Estos problemas exigen que se haga un uso eficaz de los fertilizantes en la producción agrícola, sobre todo de los fertilizantes nitrogenados,

a fin de reducir al mínimo las repercusiones ambientales.

El nitrógeno 15, uno de los isótopos estables, ha resultado ser un instrumento muy útil para estudiar cuantitativamente el comportamiento y las transformaciones de los fertilizantes nitrogenados en el medio ambiente, y detectar sus residuos en los sistemas agroecológicos. Los Laboratorios de Seibersdorf han desempeñado un papel primordial en los programas coordinados de investigación sobre el uso eficaz de los fertilizantes en los cultivos de cereales mediante la elaboración de técnicas isotópicas adecuadas, el suministro de servicios analíticos y la transferencia de esta tecnología por medio de la capacitación científica.

La adopción de mejores métodos de fertilización permite utilizar menos fertilizantes para producir el mismo volumen de alimentos. En muchos países esto se ha traducido en un ahorro de muchos millones de dólares anuales y en la disminución de los niveles de nitrógeno en el medio ambiente.

En la esfera de la edafología, los Laboratorios también están realizando investigaciones en dos aspectos complementarios: la determinación de las mejores prácticas de gestión de fertilizantes, es decir, el lugar para aplicar el fertilizante, el momento oportuno para hacerlo y las fuentes de fertilizantes disponibles; y la identificación de genotipos en las plantas que contribuyan a la absorción y el uso de los nutrientes, es decir, que permitan obtener el mismo rendimiento con menos cantidad de fertilizantes.

Las técnicas basadas en el nitrógeno 15 también han demostrado ser una ayuda indispensable para comprobar los cambios registrados en el nitrógeno disponible en el suelo y evaluar sobre el terreno las pérdidas por desnitrificación y la fijación biológica del nitrógeno.

En los Laboratorios de Seibersdorf se elaboraron gran parte de los métodos basados en el uso del nitrógeno 15 para evaluar la cantidad de nitrógeno fijado biológicamente en leguminosas cultivadas sobre el terreno, métodos éstos que se han adaptado posteriormente a otros sistemas de fijación del nitrógeno. Las actividades de investigación en curso están destinadas a maximizar el uso de esta otra fuente de nitrógeno suplementaria en varios sistemas agrícolas, incluida la agricultura forestal. Las plantas fijadoras de nitrógeno utilizan el nitrógeno presente en grandes cantidades en la atmósfera mediante un proceso en que interviene indirectamente la energía solar. Este proceso es más seguro desde el punto de vista medioambiental y no entraña los riesgos de contaminación asociados con el uso indiscriminado de fertilizantes químicos.

Se sabe que los árboles que fijan el nitrógeno son capaces de desempeñar un importante papel en las prácticas que llevan a cabo los campesinos del tercer mundo para lograr una agricultura sostenible. Estos árboles, además de ser fuentes de leña, pienso animal, pulpa de papel, forraje y madera, también contribuyen a restaurar o mantener la fertilidad del suelo. Para utilizar esta fuente de nitrógeno natural y de bajo costo, es preciso contar con estimaciones fiables de la capacidad de fijación biológica del nitrógeno que tienen los árboles en determinadas condiciones agroecológicas. Con este fin los Laboratorios emplean técnicas isotópicas destinadas a cuantificar

el nitrógeno que fijan algunos árboles que tienen esta capacidad, como por ejemplo, la *Gliciridia*, la *Leucaena*, la *Acacia* y la *Casuarina*, las que suelen utilizarse en los sistemas agroforestales y también para estudiar los factores que influyen en la fijación del nitrógeno. En el futuro se prevé utilizar técnicas isotópicas para estudiar el ciclado de los nutrientes (sobre todo, el nitrógeno y el fósforo) en determinados sistemas agroforestales.

Compuestos agroquímicos y residuos

Se están realizando estudios con la ayuda de trazadores radiactivos para seguir el destino final de los productos agroquímicos y sus residuos. El objetivo que se persigue es hacer un uso más eficaz de los plaguicidas y minimizar o eliminar efectos colaterales indeseables. Los compuestos radiomarcados también se emplean para elaborar fórmulas de plaguicidas de dispersión controlada.

Las actividades de investigación y desarrollo que los Laboratorios llevan a cabo en esta esfera coinciden con el concepto de la agricultura sostenible, ya que se orientan a un uso más seguro y eficaz de los plaguicidas. Por ejemplo, las fórmulas de plaguicidas de dispersión controlada permiten reducir el uso de plaguicidas, mejorar la seguridad para quien las aplica y para otros organismos no objetivo, reducir la contaminación ambiental (incluida la contaminación del agua subterránea) y combatir las plagas de manera más eficaz y económica.

Ha sido extraordinario el trabajo que se ha hecho sobre el uso de blancos impregnados con insecticida para la lucha contra la mosca tsé-tsé. En este caso el propósito es reducir o eliminar el viejo método de fumigación indiscriminada de plaguicidas. La ubicación selectiva de blancos impregnados con insecticida, y la posibilidad de recuperarlos y eliminarlos debidamente después de su uso, hace que esta técnica no resulte contaminante para el medio ambiente y que sea más segura para el ecosistema en general. Los Laboratorios también están estudiando los efectos potencialmente negativos de los plaguicidas organoclorados en la flora y la fauna africanas.

Lucha contra los insectos y las plagas

Los insecticidas son el principal método de lucha contra los insectos y seguirán siéndolo en el futuro previsible. Aún así, estos productos químicos siguen suscitando preocupaciones desde el punto de vista ambiental y los insectos cada vez se hacen más resistentes a ellos. Además, el reconocimiento de los problemas que estos productos químicos pueden plantear para la salud y la necesidad de evaluar sus consecuencias medioambientales y comportamiento, hace muy costosa la producción de nuevos insecticidas y, por tanto, limita su desarrollo. Estos factores han llevado a la necesidad de fomentar las investigaciones con objeto de hallar otros métodos para combatir los insectos. Uno de estos métodos es la

técnica de los insectos estériles (TIE), método genético de lucha contra las plagas de insectos basado en el control de natalidad de los insectos.

La TIE es el aspecto en que los Laboratorios de Seibersdorf hacen más hincapié dentro de su programa de lucha contra las plagas e insectos. Esta técnica, uno de los medios más orientados a un objetivo específico y más inocuos para el medio ambiente, se basa en la producción y suelta de insectos esterilizados mediante radiaciones gamma. Cuando los machos estériles se aparean con las hembras salvajes no se produce ninguna progenie. La suelta reiterada de un número suficiente de machos estériles puede erradicar totalmente una plaga. Como la técnica está orientada a una plaga en particular, ésta no afecta a ningún otro organismo vivo en la zona de la suelta. Esta es la razón por la cual la TIE es una técnica inocua para el medio ambiente. La TIE puede ser sumamente rentable, ya que los beneficios económicos que reporta la eliminación de la plaga aumentan con el tiempo. Las investigaciones efectuadas en los Laboratorios para mejorar los procedimientos de cría en masa de insectos y desarrollar los métodos de esterilización han contribuido a elevar la eficiencia y eficacia de la TIE en la lucha contra la mosca mediterránea de la fruta (moscamed) y la mosca tsé-tsé. En estos momentos se están elaborando métodos de cría destinados a otras plagas de insectos con objeto de aplicar la TIE como medio para combatirlos.

En la mayoría de los programas TIE se sueltan tanto machos como hembras estériles, ya que es difícil separar los sexos. Cuando se sueltan sólo machos estériles, a menudo aumenta su eficacia, puesto que no hay hembras estériles para competir con las hembras salvajes. Si se eliminan las hembras durante la etapa embrionaria o larvaria inicial, se lograrán ahorros en la cría. En los Laboratorios también se realizan investigaciones sobre los métodos genéticos para separar los insectos por sexo o producir sólo machos para los programas TIE. Ultimamente, se han creado cepas mutantes de la moscamed, en que las hembras se pueden suprimir selectivamente durante el proceso de cría simplemente elevando la temperatura. De esta forma sólo se producen y sueltan machos. Como éstos son el componente activo del programa TIE, es posible obtener beneficios y ahorros considerables.

También se están desplegando esfuerzos para desarrollar agentes patógenos insecticidas que permitan reducir las poblaciones de insectos salvajes destinadas a ser erradicadas mediante la TIE. La reducción de los insectos naturales antes de soltar los machos estériles disminuye el volumen de la suelta y el tiempo necesario para lograr la erradicación. Con este propósito se están procurando y desarrollando cepas del agente entomopatógeno bacteriano *Bacillus thuringiensis* para suprimir por medios biológicos la mosca mediterránea de la fruta. También se están realizando esfuerzos para hallar cepas de la bacteria que produzcan agentes activos destinados a un objetivo específico a fin de que su aplicación no dañe a ningún otro organismo en el medio ambiente. Combinando el uso de agentes patógenos bacterianos con la TIE se están desarrollando sistemas de gestión de plagas integrados destinados a un objetivo específico, económicos, eficaces y menos nocivos para el medio ambiente.

Fitogenética

La domesticación de especies silvestres hizo posible el primer cultivo y la fitogenética selectiva permitió hacerlas más productivas. Más tarde otros factores adquirieron especial pertinencia a medida que los monocultivos lograron establecerse con más fuerza. Estos factores tuvieron que ver con los daños que causan las plagas y las enfermedades, con la reacción de las plantas al agua y los fertilizantes, y con la cosecha mecánica, la elaboración y la capacidad de almacenamiento.

Hoy la calidad de las cosechas depende en gran medida de los recursos genéticos. Sólo tres especies —el trigo, el arroz y el maíz— proporcionan la mitad de los alimentos que se consumen en el mundo. Otras cuatro —la papa, la cebada, la batata y la yuca— elevan el total a las tres cuartas partes. Esta fuerte dependencia de unos cuantos cultivos es peligrosa. Las enfermedades se pueden propagar rápidamente por medio de los monocultivos, como sucedió con la pérdida de la cosecha de papa de Irlanda en el decenio de 1840, que ocasionó la muerte de una quinta parte de la población del país. En el decenio de 1960, una epidemia de la enfermedad del trigo, la roya amarilla, azotó a los Estados Unidos y el Estado de Montana perdió una tercera parte de su cosecha. En este caso la situación se resolvió gracias a los genes de un trigo silvestre procedente de Turquía que ofrecía resistencia a ésta y otras 50 enfermedades. El maíz también ha sido muy vulnerable a ese tipo de desastres, ya que el cruce entre plantas de una misma especie le ha conferido una base genética casi uniforme. No obstante, utilizando los genes de dos variedades silvestres ha sido posible hacer resistencia a siete enfermedades que afectan los cultivos de maíz.

Aunque el cruce de varias especies silvestres puede aumentar el rendimiento y la protección contra las enfermedades, el uso de mutaciones artificialmente inducidas ha ayudado mucho últimamente a incrementar la producción agrícola. En los últimos 20 años (1970-1990), el número de cultivares derivados mediante mutaciones inducidas ha ascendido de 117 a 1500. De estos, el 90% se derivó de mutaciones radioinducidas.

Las nuevas variedades de mutantes, todas aprobadas y comprobadas oficialmente, se han distribuido en unos 50 países. De esta forma se ha puesto a disposición de los fitogenetistas un valioso y nuevo germoplasma para el cruce con mutantes inducidos, lo que ha aumentado el número de características que necesitan los agricultores, procesadores, comerciantes y consumidores.

Durante los últimos 50 años, varios programas de fitogenética han utilizado los rayos X, los rayos gamma y los neutrones para inducir la mutación de las plantas, a partir de lo cual se seleccionan los mutantes adecuados de entre la progenie de plantas tratadas con mutágenos.

Las características más importantes que pueden obtenerse mediante la mutagénesis radioinducida en relación con el desarrollo agrícola sostenible son:

- aumento de la resistencia a las enfermedades para reducir el uso de productos químicos contra plagas, y con ello contribuir a la protección del medio ambiente,

- mejoramiento de las características agronómicas, como una mayor tolerancia a las malas condiciones del suelo, la sequía, el calor o la crudeza del invierno, para que los cultivos se adapten a las tierras marginales,

- acortamiento de los tiempos de maduración para escapar de la helada y las plagas, permitir la rotación de los campos con otros cultivos, y mejorar la resistencia al encamado (menor altura y tallos más robustos), a fin de que los cultivos tengan mejores posibilidades de soportar las fuertes lluvias y tormentas,

- aumento del rendimiento mejorando, por ejemplo, la fijación del nitrógeno.

Los trabajos que se llevan a cabo en los Laboratorios de Seibersdorf en la esfera de la fitogenética incluyen el apoyo a proyectos destinados a mejorar la resistencia a las plagas y enfermedades de cultivos tropicales como el banano, el plátano, la yuca, el ñame y el cacao mediante mutaciones radioinducidas.

Combinando los métodos de micropropagación y mutagénesis *in vitro* se ha dotado de más recursos genéticos a la fitogenética en todo el mundo. Se han creado nuevas variedades resistentes a las plagas que permitirán disminuir la dependencia de los plaguicidas. En los Laboratorios de Seibersdorf se realizan

trabajos experimentales con el plátano y el banano para hacerlos más resistentes a la fusariosis y la sigatoka negra. En Honduras, Egipto y Australia se están ensayando sobre el terreno clones de mutantes de alto rendimiento provenientes de los Laboratorios de Seibersdorf.

En el cacao también se están aplicando técnicas de mutagénesis del polen y de embriogénesis somática para su inducción en árboles resistentes a virus en Ghana.

En lo que se refiere a la yuca, un cultivo importante en los países tropicales, la labor de los Laboratorios se centra en la optimización de las técnicas mutacionales en los cultivos de tejidos y en el suministro de material para su ensayo sobre el terreno en Colombia. Ello tiene por objeto obtener mediante la mutagénesis *in vitro* un conjunto de genes que permita reproducir la yuca mediante selección genética y mejorar su tolerancia a las tensiones del medio ambiente.

También se han hecho estudios de fitogenética sobre mutación radioinducida con el alga simbiótica *Azolla-Anabaena* para mejorar su tolerancia a tensiones abióticas como la salinidad, los niveles tóxicos del aluminio y el herbicida Propanil.™ La *Azolla-Anabaena* es un importante sistema fijador de nitrógeno que actúa como biofertilizante en los arrozales. Los clones, obtenidos mediante radiaciones gamma en los Laboratorios, se evaluaron sobre el terreno en Filipinas, China y Tailandia, donde se observó su resistencia a niveles extremadamente bajos de salinidad y su capacidad de crecimiento en condiciones de gran acidez y alto contenido de aluminio.

Asimismo, los fitogenetistas de los Laboratorios están utilizando nuevos métodos de biología molecular para seleccionar los mutantes adecuados. Por ejemplo, ahora se está utilizando la técnica de identificación de secuencia de ADN en el *Musa* para caracterizar el ADN genómico de los cultivares de plátano y banano más importantes. Esta técnica facilitará la selección de las características más importantes desde el punto de vista agronómico de estos cultivos tropicales.

Científicos de los
Laboratorios de
Seibersdorf (Cortesía:
Katholitsky, OIEA)



El segundo artículo de esta serie en dos partes — que aparecerá en la próxima edición del Boletín del OIEA — se centrará en los aspectos del desarrollo sostenible asociados con el medio ambiente.