

Difusion de la biotecnología en África. Revisión de avances en este terreno en África Oriental y del Sur

DR. CALESTOUS JUMA

INTRODUCCIÓN¹

LA BIOTECNOLOGÍA, definida ampliamente como la aplicación económica de los procesos biológicos no es una actividad reciente en Africa Oriental² y del Sur. Desde hace siglos, se han venido aplicando diversos métodos biotecnológicos tradicionales en la agricultura, el procesamiento de alimentos y la elaboración de cerveza. Sin embargo, lo novedoso es la aplicación de técnicas recientes, especialmente la ingeniería genética, el cultivo de tejidos y la tecnología con hibridoma.

Las aplicación de estas técnicas en la región aún se limita a la investigación y es parte de las actividades generales de investigación en estos países. Algunos de ellos están considerando la posibilidad de crear institutos de biotecnología. No obstante, probablemente éstos serán tan sólo extensiones de las actividades de investigación existentes. Las perspectivas de aplicar los resultados de las investigaciones en el terreno económico dependerán mucho de las tendencias actuales en la arena internacional, las políticas existentes en la región y la capacidad de las instituciones ya establecidas para adaptarse a los imperativos de las nuevas tecnologías.

Este informe representa un breve panorama de la literatura disponible. A partir de la información con la cual contamos, es evidente que la mayor parte de la investigación y los objetivos de la investigación biotecnológica en la región son en agricultura. Nuestro punto de vista es que los márgenes de ganancia de la inversión en investigación biomédica parecen superiores a los que se obtienen en la mayoría de los subsectores agrícolas. Quienes se inician en el escenario de la biotecnología, especialmente si quieren apoyar la investigación básica deben centrarse en la investigación biomédica. No obstante, también existe un gran campo de acción

¹ Este artículo se basa en un estudio más amplio conducido por el Centro Africano de Estudios Tecnológicos (ACTS) para el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC).

² Esta es una definición técnica y cubre la ingeniería genética, tecnología de hibridoma, cultivo de tejidos y otras técnicas novedosas. No cubre biotecnología tradicional.

específicamente en temas relacionados con el desarrollo de recursos humanos, el establecimiento de investigación conjunta, así como en la comercialización de los resultados de la investigación.

PANORAMA ECONÓMICO REGIONAL³

El Africa subsahariana es tan pobre hoy como lo era hace 30 años. La crisis económica que empeora cada día en Africa se ha caracterizado por un crecimiento agrícola Bajo, menor producción industrial, pocas exportaciones, y una deuda y degradación ambiental cada vez mayores.

Estos factores internos y externos han hecho que las economías africanas resulten más vulnerables a las fluctuaciones ecológicas y de mercado. La inestabilidad en los mercados internacionales ha dificultado a estos países la diversificación de sus economías y la reducción de su dependencia sobre las exportaciones de un número muy reducido de productos. La deuda a largo plazo de Africa ha aumentado considerablemente desde 1970 y actualmente es casi igual al PNB (Producto Nacional Bruto) de la región.

En muchos países africanos el gasto público en servicios sociales está disminuyendo, al igual que la inscripción en las escuelas; la mortalidad infantil aumenta, los estándares nutricionales están empeorando y las redes de carreteras se encuentran en muy mal estado. El desempleo está aumentando en varios países y la presión demográfica amenaza los recursos naturales. La degradación ambiental se ha vuelto el síntoma de una crisis económica y ambiental cada vez más profunda y la falta de recursos financieros adecuados también está produciendo un deterioro institucional.

El análisis del papel que desempeñan las nuevas tecnologías en Africa debe realizarse en el contexto de las tendencias generales del desarrollo y ambientales. Los países de Africa Oriental, a excepción de Kenia, entran en la categoría de países menos desarrollados (PMD). En 1988, al empeorar la situación económica en la región, el número de estos países en Africa había aumentado a 28, a pesar de diversos intentos para encontrar una solución a la crisis africana.

Los esfuerzos más conocidos son los realizados por el Banco Mundial y el Fondo Monetario Internacional (FMI) para introducir reformas estructurales en las economías. Los países dependen para obtener ingresos en divisas extranjeras de la exportación de un número limitado de cultivos comerciales. Estos cultivos actualmente se ven afectados por los precios de estos productos así como por posibles sustitutos provenientes de la investigación biotecnológica en los países industrializados y de reciente industrialización

Bajo los auspicios de la Organización para la Unidad Africana, (OAU), los países africanos, adoptaron en julio de 1985 el Programa Prioritario para la

³ Para obtener una revisión completa de la situación económica en Africa, véase World Bank, *Sub-Saharan Africa*.

Recuperación Económica de Africa, 1986-1990 (APPER). Un año después éste fue seguido por la adopción del Programa de Acción de Naciones Unidas para la Recuperación Económica y el Desarrollo de Africa, 1986-1990 (UN-PAAERD). Estos programas representan experimentos que se centran en interpretaciones convencionales de la situación del continente y subrayan la movilización de recursos financieros, reformas institucionales y oportunidades de exportación. La situación de la mayoría de estos países mostraba todos los síntomas de una profunda crisis económica y ecológica que no podía remediarse en un período tan corto:

Se caracterizan por un ingreso per cápita muy bajo, y las necesidades básicas y principalmente en el sector de subsistencia de la mayoría de la población están por debajo del mínimo aceptable; una productividad agrícola extremadamente pobre e instituciones de apoyo al agro muy débiles; una participación muy baja de la manufactura en el PNB; niveles inadecuados de explotación de los recursos naturales, especialmente los minerales y energéticos debido a la falta de conocimientos, energía, financiamiento y habilidades; niveles de exportación per cápita muy bajos incluso con flujos de ayuda, y muy poca disponibilidad absoluta de importaciones; escasez aguda de personal capacitado en todos los niveles; infraestructura institucional y física muy débil, especialmente en las áreas del transporte y las comunicaciones y grandes desventajas geográficas y/o climatológicas como sería una situación de falta de acceso al mar, insularidad, sequía y desertificación.⁴

A partir de esta descripción, parece claro en la situación de la mayoría de los países africanos que las medidas económicas convencionales, particularmente las que se relacionan con la administración macroeconómica no resolverán los problemas fundamentales de estas economías. Sin embargo, ciertas instituciones como la ECA aún recomiendan las mismas medidas que han fracasado en la solución de los problemas económicos y ecológicos actuales de Africa. Estas incluyen una administración macroeconómica eficiente, movilización de recursos, aumento de la ayuda financiera, estabilización de los productos y condonación de la deuda externa que a fines de 1988 alcanzaba los 230 000 millones de dólares.

Estas medidas sólo se abocan a tratar los síntomas de los problemas pero no enfrentan las principales fuentes de renovación económica. La aplicación de la ciencia y la tecnología en el desarrollo africano es una de las estrategias más importantes de la renovación económica. La mayor parte de los países africanos están tomando cada vez mayor conciencia del papel desempeñado por la ciencia y la tecnología en el desarrollo. Sin embargo, carecen de experiencia en la adquisición de tecnología y la capacidad de adaptar tecnología importada al medio ambiente local.

⁴ ECA, *Regional Assessment*, núm. 1.

CUADRO 1
TRACTORES POR UNIDAD DE TIERRA ARABLE, 1982

<i>País</i>	<i>Tractores por c/1 000 has.</i>
Etiopía	0.3
Kenia	2.8
Malawi	0.5
Tanzania	3.6
Uganda	0.5
Swazilandia	20.7
Zambia	0.9
Zimbabwe	7.5
Australia	7.3
India	2.7
Paquistán	6.0
Estados Unidos	24.2

Fuente: Instituto de Recursos Mundiales, Washington, D. C.

Un vistazo a sus sectores agrícolas muestra una aplicación muy limitada de tecnología, lo cual se ilustra muy claramente en el caso de la minimización agrícola de la región.⁵ Como lo muestra el cuadro 1, la tasa de tractores por unidad de tierra cultivable en Africa es relativamente baja y varía considerablemente de uno a otro país. De todos los tractores utilizados en Africa en 1980 (casi medio millón), sólo aproximadamente 25% se hallaban en el Africa subsahariana. El resto se encontraba en Arica del Norte y del Sur. Debe señalarse que estas cifras sólo demuestran los tractores disponibles, no los que se encontraban en funcionamiento. Si se toma en consideración este factor, la disparidad en el uso de tráctores se relacionaría con la capacidad de estos países para darles mantenimiento y servicio, problema en gran medida tecnológico.

Además, los problemas económicos actuales dificultan su capacidad para financiar los costos de las tecnologías importadas. El surgimiento de la biotecnología como grupo de técnicas ha abierto nuevas posibilidades para que las economías africanas utilicen la tecnología moderna en la renovación de sus sectores agrícola, de salud, industrial y ambiental. El ritmo al que estos países utilizarán ventajosamente estas tecnologías dependerá en gran medida del esfuerzo que hagan para garantizar que las nuevas tecnologías se apliquen en el desarrollo económico a largo plazo.

El terreno de la biotecnología en la región debe tomar en consideración los acontecimientos que están ocurriendo en Sudáfrica. Hay que señalar que este país tiene las actividades de investigación más avanzadas en biotecnología y su inde-

⁵ La mecanización en la agricultura se utiliza sólo como indicador pero ni implica la aceptación del uso de la mecanización en la agricultura africana. De hecho, las nuevas biotecnologías están posibilitando la reducción de la necesidad de mecanizar ciertos aspectos de la agricultura

pendencia abrirá otras fuentes de conocimiento y oportunidades de capacitación para los otros países de la región. Sudáfrica tiene un alto grado de diversidad biológica y también posee amplias relaciones con otros países como Angola y Namibia. Con la independencia, el punto central del interés científico para la región pasará a Sudáfrica.

TENDENCIAS MUNDIALES EN BIOTECNOLOGÍA

Los avances tecnológicos y las prioridades africanas⁶

La biotecnología ha experimentado grandes avances en los últimos años y ha abierto una amplia gama de oportunidades para su aplicación en los países en desarrollo. Los métodos para enfrentar la manipulación genética están siendo simplificados y nuevas áreas de investigación como la secuencia de genomas humanos también están avanzando. Es difícil establecer lo más avanzado en este campo en el sector salud debido al ritmo de la innovación tecnológica. La mayoría de la investigación en bioquímica aún se realiza en el sector de la salud humana, seguido por el procesamiento agrícola y bioquímico. Ciertas áreas de nuevo interés incluyen el manejo del medio ambiente así como la minería. Juzgando por la distribución de las actividades corporativas entre las empresas dedicadas a la biotecnología en Estados Unidos, la mayoría del esfuerzo en investigación y desarrollo se dirige a la biotecnología médica.

Como lo muestra el cuadro 2, la terapéutica humana ha recibido la mayor atención, seguida por el diagnóstico, los productos químicos, la agricultura vegetal y animal y los reagentes. Es notable que en Africa se ha puesto mayor atención a la agricultura y otras áreas como la terapéutica prácticamente no se toman en consideración. La dirección de la investigación biotecnológica en Africa está influida por la agenda de investigación tradicional y no por las posibilidades y perspectivas que existen en este nuevo sector. Aunque es cierto que la agricultura africana requiere de atención especial, no es necesariamente cierto que también ocurran descubrimientos significativos en este mismo sector.

Además, no es necesariamente cierto que los ingresos económicos más altos para la inversión en investigación resulten de estos sectores. Muy por el contrario, puede argumentarse que en la mayoría de las áreas de investigación agrícola, las técnicas tradicionales de cultivo han logrado rendimientos relativamente altos y los ingresos de la inversión en investigación difícilmente serán tan altos como en áreas que hasta ahora reciben menos atención. Debe señalarse que los riesgos de la biotecnología no agrícola en Africa son relativamente más altos que en la agricultura y ello podría explicar hasta cierto punto el énfasis puesto en la biotecnología agrícola.

⁶ Los textos estándar sobre las diversas técnicas utilizadas en biotecnología proporcionan un catálogo de las diferentes maneras en que las técnicas pueden aplicarse en los países en desarrollo. La mayoría de estos textos subrayan considerablemente la biotecnología agrícola.

CUADRO 2
CAMPO DE INVESTIGACIÓN EN BIOTECNOLOGÍA DE LAS EMPRESAS BIOTECNOLÓGICAS ESTADUNIDENSES

<i>Área de Investigación</i>	<i>Empresas biotec.</i>	<i>% de participación</i>	<i>Grandes empresas</i>	<i>% de participación</i>
Terapéutica humana	63	21	14	26
Diagnósticos	52	18	6	11
Químicos	20	7	11	21
Agricultura vegetal	24	8	7	13
Agricultura animal	19	6	4	18
Reagentes	34	12	2	4
Tratamiento de desechos	3	1	1	2
Equipo	12	4	1	2
Cultivo de células	5	2	1	2
Diversificado	13	14	6	11
Otros	31	18	0	0

Fuente: Oficina para la Evaluación de Tecnología, Washington, D. C.

CUADRO 3
COLABORACIÓN PARA LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA: LOS CENTROS CGIAR

<i>Cultivo</i>	<i>Centro</i>	<i>Colaboradores</i>
Trigo	CIMMYT	Cultivo de Tejidos para proyecto de Cultivos (CTPC)
Papa, camote	IRRI	Univesidad de Colorado, USDA, Universidad Estatal de Carolina del Norte, Universidad de Braunscheig, Universidad de Cornell, Instituto Weizman, Estación Agrícola Federal Suiza, ENEA
Legumbres	ICARDA	AGCD
Arroz	IRRI	Fundación Rockefeller
Yuca	CIAT, IBPGR	Universidad Estatal de Luisiana, Universidad de Manitoba, Universidad de Washington
Frijol común	ORSTOM, IBPGR CIAT	Universidad de California, Universidad de Florida, CTPC, Universidad de Napoles, Agricultura Canadá
Caupí (especie de garbanzo)	IITA	Universidad de Napoles, Universidad de Purdue.
Platano	IITA	INIBAP

Fuente: Cohen, "Biotechnology for the Developing World"; Centro Africano de Estudios Tecnológicos, Nairobi.

Otros factores como la categoría de las instituciones de investigación también influye sobre las prioridades adoptadas en Africa. Existen más relaciones de investigación entre organizaciones africanas e internacionales en la agricultura

que en otros sectores y por consiguiente la biotecnología agrícola desarrollada en los países industrializados llega a África más fácilmente a través de estos canales de investigación. La dirección de la investigación biotecnológica en África no refleja, por consiguiente, la trayectoria mundial de la investigación y las áreas con el potencial más alto de participación a largo plazo en la economía del mundo. Este punto es importante si consideramos el hecho de que los cultivos comerciales tradicionales de África actualmente están amenazados por productos biotecnológicos y que el continente debe prepararse para ajustar su producción a nuevos cultivos y productos industriales.

La ventaja competitiva de los países que participan en el comercio internacional actualmente se define por la competitividad tecnológica de sus principales empresas. África sigue en desventaja en este terreno y por consiguiente, cualquier elección de tecnología o establecimiento de las prioridades para el desarrollo tecnológico necesitan tomar en cuenta estas consideraciones de competitividad a largo plazo.

El énfasis actual no es una desventaja en sí mismo, dado que África tiene problemas agrícolas reales que pueden solucionarse a través de la biotecnología. Sin embargo, el problema es que África bien podría estar siguiendo un camino que tiene oportunidades más limitadas en términos del desarrollo general de la biotecnología. Al poner menos atención a otras áreas de la biotecnología, África podría estar limitando su capacidad de beneficiarse de los descubrimientos fundamentales en estos sectores.

Los avances en el cultivo de tejidos han sido de interés particular para los países africanos debido a su potencial para solucionar algunos de los problemas persistentes en la agricultura africana. Los beneficios potenciales del cultivo de tejidos incluyen la multiplicación acelerada de plantas, desarrollo de esquejes libres de enfermedades, producción de plantas uniformes, su propagación todo el año, el desarrollo rápido de variedades mejoradas y mejores condiciones para el intercambio y almacenamiento de material genético. Una de las características clave de la investigación biotecnológica en agricultura es la creciente colaboración entre los centros de investigación agrícola internacionales y las instituciones en los países industrializados. Esta colaboración ha posibilitado a estos centros el acceso a las técnicas más avanzadas desarrolladas por institutos de investigación especializados.

Como lo señalamos antes, el énfasis en la investigación sobre biotecnología agrícola se ha puesto en los cultivos tradicionales. Esto no es poco común puesto que ya existen inversiones en investigación y de mercado en estos cultivos que se espera mejoren la economía de producción agrícola. Muchos de los cultivos que reciben actualmente atención biotecnológica son también algunos de los principales cultivos de la región. Estos incluyen plátano, yuca, cacao, café, coco, papa, pimiento, arroz y trigo. La aplicación más avanzada de la biotecnología en estos cultivos es en el diagnóstico, seguido por la propagación acelerada. Se ha realizado menos trabajo en los sistemas de transformación y regeneración. Excepto en

cultivos como papa, nabina y arroz, la aplicación de biotecnología aún es a mediano (5-10 años), o a largo plazo (más de 10 años).

Sin embargo, esta proyección podría cambiar considerablemente dependiendo de los avances en la innovación tecnológica. De hecho, una técnica recientemente desarrollada como el polimorfismo de restricción del largo de fragmentos (RFLP) está revolucionando a la ingeniería genética. El RFLP posibilita las actividades de cultivo sin identificación previa de los genes relevantes o la comprensión de sus procesos bioquímicos.

Para otros cultivos se dispone de los sistemas de transformación y regeneración. Estos incluyen maíz, centeno, algodón, lino, frijol de soya, zanahoria, coliflor, apio, pepino, papa, tabaco, jitomate, alfalfa, *stylosanthus*, álamo y nogal. Se espera que el alcance de los nuevos productos biotecnológicos aumente y que las técnicas de manipulación genética se vuelvan más refinadas. Ya se han dado considerables pasos en el desarrollo de nuevas vacunas animales, muchas de las cuales tienen como objetivo el mercado africano.

CUADRO 4
DISPONIBILIDAD DE NUEVA BIOTECNOLOGÍA

Cultivo	Nuevos diagnósticos	Sistemas de propagación	Sistemas de Transformación	Sistemas de Regeneración	Tiempo (años)
Plátano/platina	✓	✓	✗	✓	5—10
Yuca	✓	✓	✗	✗	5—10
Cítricos	✓	✓	✗	✗	más de 10
Cacao	✓	✗	✗	✗	más de 10
Café	✓	✓	✗	✓	5—10
Aceite de Palma	✓	✓	✗	✗	más de 10
Papa	✓	✓	✓	✓	0—5
Piretro	✓	✓	✗	✗	5—10
Nabina	✓	✓	✓	✓	0—5
Arroz	✓	✓	✓	✓	0—5
Caña de azúcar	✓	✓	✗	✗	5—10
Té	✓	✓	✗	✗	más de 10
Tabaco	✓	✓	✓	✓	0—5
Viñedos	✓	✓	✗	✗	5—10
Trigo	✓	✓	✗	✗	más de 10

Fuente: Banco Mundial, Washington, D. C.; Centro Africano de Estudios Tecnológicos, Nairobi.

En este campo ha habido un aumento considerable de conocimientos científicos. Sin embargo, el nivel de apoyo para la adquisición de conocimientos en el campo de las vacunas no es tan amplio como la atención que actualmente se pone al cultivo de tejidos y otras formas de biotecnología agrícola. También se está llegando a avances rápidos en el desarrollo de vacunas contra enfermedades humanas, incluyendo vacunas contra poliomielitis, rabia, herpes, virus relacionados con cáncer, SIDA, lepra, malaria y esquistomiasis.

El avance en otras áreas de la biotecnología, especialmente en el desarrollo de animales transgénicos es digno de mención. Los animales transgénicos ya se han reportado en cerdos, ovejas, conejos y ganado vacuno en países como Estados Unidos, el Reino Unido, Alemania, Australia y Canadá. Los genes transferidos en estos casos incluyen los responsables de la hormona del crecimiento, su factor de liberación, el factor humano IX, kinasa timidina y antitripsina.

CUADRO 5
NUEVAS VACUNAS ANIMALES

Aves	Coccidiosis Virus New Castle	Genes y A. H. Robins Laboratorios Codon y Salisbury
Ganado bovino	Virus de papiloma Diarrea viral Brucelosis Ictericia hematórica	Molecular Genetics California Biotechnology Ribi ImmunoChem USDA y Universidad de California, Davis
Ganado porcino	Parvovirus Disentería	Applied Biotechnology Codon
Ganado equino	Influenza Herpes	California Biotechnology Applied Biotechnology
Animales domésticos	Parvovirus canino Leucemia felina	Applied Biotechnology Virbac S. A.

Fuente: ; Banco Mundial, Washington, D. C.; Centro Africano de Estudios Tecnológicos, Nairobi.

Desafíos

El desarrollo de la biotecnología en los países industrializados probablemente también creará diversos problemas económicos para la región. La principal amenaza está en el desplazamiento potencial de algunos de los principales cultivos que actualmente se producen en la región. Tanzania y Kenia son grandes productores de pimiento, mientras que el café es uno de los cultivos que más divisas extranjeras produce en todos los países de la región. La amenaza inmediata para la biotecnología está en la aplicación de cultivos de tejidos y fusión de células para desarrollar nuevas variedades que podrían establecerse en áreas donde estos cultivos anteriormente no se enraizaban eficazmente. Esto ya ha ocurrido con el uso de biotecnología para introducir el cultivo de café en el Sudeste asiático.⁷

En el campo de la horticultura, la investigación en Europa se centra cada vez más en el desarrollo de plantas que puedan establecerse en el Sur de este continente. Esto reducirá la importación de estos cultivos en la región. Kenia probablemente se verá afectado por este cambio debido a su actual empeño en

⁷ Clark y Juma, *Biotechnology for Sustainable Development*.

umentar sus exportaciones hortícolas. La siguiente fase de desplazamiento será a través del uso de ingeniería genética para transferir ciertas características vegetales, por ejemplo en perfumes y saborizantes hacia otros cultivos capaces de desarrollarse en una región templada.

Otros mercados como el de la carne también se verán afectados debido a la aplicación de biotecnología para el aumento de los productos lácteos. Por ejemplo, el uso de hormonas del crecimiento ha sido una de los principales motivos de guerras comerciales entre Europa y Estados Unidos y es de esperarse que los exportadores de carne africanos también resulten afectados por esta tecnología. En general, las nuevas biotecnologías posiblemente afectarán a ciertos subsectores de exportación de la región. En este sentido, las respuestas han sido variadas. Ciertos países como Etiopía han optado por reducir su dependencia en el café y pasar a la producción de ganado. Otros como Kenia, para permanecer en el mercado han optado por imitar estas tecnologías, como en el caso del cultivo de tejidos para la propagación del piretro.

No obstante, a la larga, la supervivencia de las economías dependerá de su capacidad para adaptarse a los cambios en los mercados nacional e internacional. A su vez, tal capacidad dependerá del nivel de desarrollo tecnológico tanto para satisfacer las necesidades básicas como para competir en el mercado internacional. La biotecnología ofrece nuevas posibilidades para llevar a cabo programas de conversión agrícola importantes que introducirán flexibilidad y diversidad a las economías. Sin embargo, esto requerirá programas específicos de políticas a largo plazo en los planos nacional e institucional de estos países y estos programas podrían necesitar ayuda de la comunidad financiera.

Cuestiones institucionales

En los últimos años se han presentado diversas cuestiones institucionales importantes que han influido en la distribución de la investigación biotecnológica en el mundo. Estos asuntos se han vuelto temas de discusión internacional. El primer tema se relaciona con el acceso a los recursos genéticos. Se ha argumentado que los recursos genéticos son la materia prima fundamental para la investigación biotecnológica y por consiguiente, los países en desarrollo, los cuales son las fuentes principales de ésta deben recibir compensaciones especiales por su contribución al sistema agrícola internacional. Este argumento ha llevado a la Comprensión Internacional de los Recursos Genéticos, administrada a través de la Organización Alimentaria Mundial (FAO). La FAO reconoce la contribución de los agricultores a través de lo que ahora se califica como "derechos de los agricultores". Esta idea les da legitimidad y se les compensa a través de un fondo internacional administrado por la organización, pero para que tenga el impacto adecuado el concepto necesitará integrarse en las legislaciones nacionales.

Algunos países africanos ya ofrecen sistemas paralelos de medidas legales que proporcionan un reconocimiento y protección similar. Por ejemplo, la Ley sobre

Propiedad Industrial de Kenia de 1989 amplía la protección a diversas variedades nacionales con el otorgamiento de certificados de utilidad. También se dispone de facilidades similares para fórmulas herbolarias. El enfoque de Kenia permite que coexista el sistema de patentes con otras formas de protección a la propiedad intelectual. Sin embargo, los temas de la protección de la propiedad intelectual son una fuente de graves problemas en el flujo internacional de recursos genéticos y no se han presentado opciones viables. En Naciones Unidas se están llevando a cabo diversos esfuerzos para formular una convención que cubra estos temas.

El Centro Africano de Estudios Tecnológicos (ACTS) en Nairobi, actualmente lleva a cabo investigaciones para encontrar formas de ampliar el régimen de protección a la propiedad intelectual que sirva tanto a las patentes tradicionales como a las nuevas formas de derechos a la propiedad que satisfagan las necesidades de agricultores y médicos. El objetivo de la investigación es hallar formas que permitan la utilización de recursos genéticos y al mismo tiempo se promueva su conservación, especialmente en el plano local. Debe señalarse que la actual orientación de las instituciones internacionales de investigación agrícola es establecer relaciones más cercanas con el sector privado. Esto mejorará las posibilidades para la comercialización de los resultados de investigación de los centros. Sin embargo, las materias primas utilizadas para la investigación provienen de otros países y la ampliación de la idea de “derechos de los agricultores” al terreno de la protección de la propiedad intelectual podría llevar a conflictos entre intereses privados y de soberanía.

Una de las características clave de la biotecnología industrial en los países industrializados ha sido la colaboración entre el sector privado y las instituciones públicas de investigación. Esta colaboración ha planteado diversas cuestiones relacionadas con la capacidad de las instituciones del sector público para determinar las prioridades de investigación de manera independiente de los intereses corporativos. Además, también se han expresado preocupaciones en torno al control de las corporaciones de la información generada a través de tal colaboración. Se ha argumentado que en estas condiciones, es poco probable que los países en desarrollo tengan acceso fácil a la información tecnológica. Estas tendencias también se relacionan con el fortalecimiento de los regímenes de propiedad intelectual en los países industrializados hasta cubrir productos, procesos y métodos de utilización.

POLÍTICAS Y ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL

Clima político

Al analizar las políticas nacionales sobre ciencia y tecnología en la región y sus efectos posibles en la promoción de la investigación biotecnológica, es importante examinar también la situación política. Actualmente es ya evidente que los avances en la investigación biotecnológica requieren de relaciones nacionales e internacionales muy amplias. Además, el acceso a la última literatura y la participación en

reuniones científicas internacionales son un aspecto vital del proceso. Este tema es importante si consideramos que la biotecnología es en gran medida fundamentalmente científica y que es posible que incluso los países más pobres destaquen en ciertas áreas de investigación. Aquellos países cuyo sistema político permite cierta medida de libertad y proporciona incentivos que promuevan la investigación resultarán un medio ambiente más adecuado para la investigación a largo plazo y los descubrimientos importantes.

La economía de guerra que prevalece en algunos de estos países, particularmente Etiopía y Uganda tendrían un efecto negativo sobre el desarrollo de las instituciones científicas así como en la investigación en general. Por ejemplo Etiopía dedica 60% de sus recursos nacionales a la lucha armada. A pesar del énfasis puesto en la ciencia y la tecnología en el país, los recursos disponibles para tal fin son muy pocos. Es difícil para estos países retener la mano de obra científica vital y mantener la memoria institucional requerida para la investigación a largo plazo.

Políticas económicas

La mayoría de los países de la región están experimentando con diversas políticas de reforma económica. Sin embargo, aún es demasiado pronto para evaluar los efectos de estas políticas en la sociedad de investigación. Puede argumentarse que la racionalización presupuestal en estos países probablemente reducirá los recursos disponibles para el desarrollo institucional. Por otra parte, también puede afirmarse que los recortes presupuestales probablemente obligarán a los países a racionalizar sus instituciones y los recursos disponibles para la investigación. Pero juzgando por la experiencia de Kenia, las instituciones locales se ven obligadas a buscar otras formas de obtener ingresos para nuevas investigaciones. Esto probablemente obligará a las instituciones a dirigir sus esfuerzos de investigación hacia áreas con un potencial de mercado obvio. De hecho, la mayoría de los problemas sobre los cuales están trabajando los institutos de investigación afectan a grandes secciones de la población, por lo que se supone que existe un mercado potencial para los resultados de las investigaciones.

La ciencia nacional y las políticas tecnológica

Las políticas que gobiernan a la ciencia y la tecnología son tanto implícitas como explícitas. Países como Kenia y Tanzania han desarrollado y publicado artículos sobre política que articulan la dirección de la investigación en ellos. Sólo Etiopía recientemente diseñó un plan detallado de ciencia y tecnología. El resto de los países debe enfrentar las cuestiones relacionadas con ciencia y tecnología como parte de la política y planeación general nacional. Por consiguiente, las políticas sobre biotecnología en estos países se tratan como parte de la investigación en general. En países como Kenia y Etiopía se han realizado intentos por aislar a la biotecnología y tratarla como un área que requiere de atención especial en cuanto

a políticas. Sin embargo, la atención parece haber pasado del área de diseño de políticas a la construcción de instituciones.

No existen pruebas claras en el sentido de que las actuales instituciones responsables de las políticas de ciencia y la tecnología hayan contribuido significativamente a la reorganización de políticas nacionales y a reflejar la necesidad de ciencia y tecnología. Al parecer, como en el caso de Kenia y Etiopía, los planes de desarrollo reflejan la apreciación general de la ciencia y la tecnología y se relacionan con los sectores específicos de las economías.

El reconocimiento no puede atribuirse directamente al trabajo de las instituciones responsables por la política de ciencia y tecnología. Sin embargo, es notable que la investigación se está convirtiendo en una de las principales áreas de interés político en la mayoría de los países y se espera que la siguiente generación de planes de desarrollo pondrán más atención al tema, especialmente en lo relacionado con la integración de la ciencia y la tecnología con los esfuerzos generales del desarrollo.

Existe una importante divergencia entre los países de la región acerca de la manera de enfrentar estos temas; algunos de ellos, Kenia para empezar, han optado por integrarlo en su planeación general, al mismo tiempo que lo identifican como un terreno que requiere de atención especial. Esto también se refleja en la existencia de dos instituciones que se relacionan con la ciencia y la tecnología (el Consejo Nacional para la Ciencia y la Tecnología y el Ministerio de Investigación, Ciencia y Tecnología). En otros países, Etiopía para mencionar uno de ellos, la ciencia y la tecnología aparecen como un tema sectorial que requiere un plan independiente.

El éxito de estos intentos dependerá en gran medida de la capacidad del sistema político y las instituciones para dar la flexibilidad y autonomía que se requiere para facilitar el proceso de innovación tecnológica. La biotecnología es particularmente sensible al nivel de flexibilidad y autonomía debido a que depende de la convergencia de una gran diversidad de disciplinas. Además, el nivel de relaciones corporativas entre el sector privado y las instituciones de investigación probablemente será un factor fundamental en la aplicación comercial de los productos biotecnológicos en estos países.

Acuerdos institucionales

Aunque la mayoría de los países de la región han creado instituciones responsables de la formulación de políticas en ciencia y tecnología, no existen pruebas de que hayan tenido un impacto significativo en el desarrollo de éstas. Su papel principal ha sido el diseño de lineamientos en política. La mayoría de los logros en ciencia y tecnología en general y en biotecnología en particular, pueden atribuirse a los esfuerzos realizados por instituciones individuales y la gente que participó en la realización de determinados programas. Existen pruebas de proyectos de investigación importantes que fracasaron simplemente porque sus dirigentes tuvieron

que abandonarlos para cumplir con otros compromisos. Esto indica claramente que los proyectos no son parte de un programa nacional bien coordinado, sino que dependen de la determinación de unos cuantos individuos o instituciones. La región carece del apoyo y compromiso gubernamental a largo plazo que generalmente acompaña al desarrollo de nuevas tecnologías. En algunos casos, las instituciones de investigación se autoregulan en parte como resultado de su autonomía y en parte de la falta de políticas y lineamientos gubernamentales claros respecto a la investigación.

Todos estos países tienen diversas instituciones nacionales responsables de la formulación de políticas sobre temas de ciencia y tecnología. Estas instituciones son comisiones (Etiopía), consejos (Kenia, Uganda y Tanzania) y academias (Somalia). La investigación agrícola se organiza de manera diferente y es anterior a estas instituciones. Ello es fundamentalmente porque la investigación agrícola se estableció mucho antes que se reconociera e instrumentara la necesidad de cuerpos encargados del diseño de políticas.

La investigación agrícola en Etiopía es patrocinada y coordinada a través del Instituto de Investigaciones Agrícolas (IAR), establecido en 1966. Para 1987, el (IAR) tenía ya un personal profesional de 430 personas, de las cuales, 14 eran doctores, 59 tenían maestría, 129 estaban realizando estudios de posgrado y 228 tenían una licenciatura. Trece de ellos eran extranjeros y otros 40 miembros del personal estaban estudiando en el país o en el extranjero. Dada la magnitud de las necesidades de investigación en el país, el número de científicos es relativamente reducido. La proyección de sus requisitos a largo plazo es de 471 investigadores con doctorados y maestrías, 757 en proceso de posgrado y 1 599 con licenciaturas. Sin embargo, el instituto colabora con la Universidad de Addis Ababa, especialmente con el Colegio de Agricultura en Alemaya y las universidades de Awasa y Debre Zeit. Además, el IAR colabora con CIMMYT, IITA, ICRISAT, ICARDA, CITP e ILCA.

En Ruanda, la investigación agrícola se organizó de manera ecológica a través del Instituto de Ciencias Agronómicas de Ruanda (ISAR), localizado en Rubona. El instituto trabaja en colaboración con el Ministerio de Agricultura y Ganadería y tiene departamentos encargados de producción vegetal, animal, sistemas agrícolas y laboratorios. El departamento de producción vegetal tiene estaciones localizadas en todas las zonas ecológicas.

En Kenia la investigación agrícola se lleva a cabo fundamentalmente a través del Instituto de Investigaciones Agrícolas de Kenia (KARI) y su red de 22 centros y 11 subcentros de investigación, la universidad y algunos cuerpos de investigación especializada como la Fundación de Investigación del Té y la Fundación de Investigación del Café. La investigación biomédica se lleva a cabo en la Universidad de Nairobi, el Instituto de Investigaciones Médicas de Kenia (KEMRI) y el Instituto de Investigaciones sobre Tripanosomiasis de Kenia (KETRI). Más recientemente, el gobierno creó una instalación paraestatal para la producción y comercialización de vacunas animales.

El país también es anfitrión de diversas instituciones internacionales, incluyendo el Laboratorio Internacional para la Investigación de Enfermedades Animales (ILRAD) y el Centro Internacional para la Fisiología y Ecología de Insectos (ICIPE). Muchas otras organizaciones internacionales también tienen oficinas y programas regionales en Kenia. Tanzania y Uganda tienen una organización de investigación similar pero no tienen el nivel de contactos internacionales de que disfruta Kenia.

En Tanzania, la investigación agrícola se coordina a través de la Organización de Investigación Agrícola de Tanzania (TARO). Otras instituciones cuyas funciones están relacionadas con la biotecnología incluyen a la Organización de Investigaciones Ganaderas de Tanzania (TALIRO), el Instituto Nacional de Investigaciones Médicas (NIMR), el Instituto de Investigaciones sobre Pesticidas de Tanzania (TPRI), el Instituto de Investigaciones sobre Fauna Silvestre de Tanzania (TWRI), el Instituto de Investigaciones Pesqueras de Tanzania (TAIFRI), el Centro Agrícola de Uyole (UAC) y el Instituto Nacional de Investigación y Capacitación Hortícola de Tanzania (NHRTI) en Arusha. La universidad Sokoine en Morogoro es fundamentalmente agrícola y tiene diversos proyectos relacionados con la biotecnología. Al igual que la mayoría de los otros países de la región, estas instituciones no tienen relación estrecha entre sí. Todas adolecen de insuficiencia de fondos, carecen de equipo y les falta personal capacitado.

A la luz de los últimos acontecimientos en Sudáfrica, es importante examinar los acuerdos institucionales en este país debido a su importancia estratégica en el campo de la ciencia y la tecnología en la región. Puede argumentarse que el desarrollo de la capacidad biotecnológica de Sudáfrica es de vital importancia para el futuro de la región. La investigación biotecnológica en Sudáfrica se coordina a través del Consejo Sudafricano para la Investigación Científica e Industrial (CSIR), el cual cuenta con 23 instituciones de investigación que cubren tanto la investigación básica como aplicada.

Siguiendo los resultados de un estudio sobre la capacidad biotecnológica de Sudáfrica a principios de los años ochenta, se recomendó el establecimiento de un programa de capacitación que se centrara en el entrenamiento de posgrado y biotecnología no médica iniciado en 1983. En 1984, el CSIR creó el Laboratorio de Biología Molecular y Celular (LMCB) en la Universidad de Witwatersrand. La organización de la biotecnología en Sudáfrica parece ser diferente de la existente en otros países africanos. Primero, en lugar de establecer una institución independiente, el LMCB se creó en la universidad, con el objeto de beneficiarse de las diferentes disciplinas requeridas en biotecnología y asistir en la capacitación de estudiantes.

Segundo, el LMCB identificó otras instituciones tales como la División de Microbiología Anaeróbica del Instituto Nacional de Investigaciones Químicas, los cuales trabajan con temas relacionados y están afiliados al LMCB. Gracias a su difusión, actualmente participa en la utilización de técnicas de genética molecular para mejorar la microflora de los rumiantes y utilizar el forraje de manera más eficiente.

Tercero, el personal del LMCB recibe ayuda de otras instituciones para estimular y facilitar la investigación y cooperación.

Además, existe un Comité Sudafricano para la Manipulación Genética (SAGENE), el cual está representado por los científicos que trabajan en este campo, miembros del Consejo de Investigaciones Médicas, del Departamento de Agricultura, la comunidad legal, el sector público y las universidades. El SAGENE aprueba propuestas, inspecciona laboratorios, interactúa con organizaciones internacionales, difunde información y lleva a cabo cursos importantes en biotecnología. Es notable que en la región existan pocas instituciones de investigación no gubernamentales que trabajen en biotecnología, lo que refleja el hecho de que este tipo de investigación requiere de acceso a la información más avanzada y la mayoría de las organizaciones no gubernamentales (ONG) tienden a utilizar la información disponible y que forma parte del dominio público.

Por ejemplo, ciertas ONG como la Universidad Agrícola Manor House en el occidente de Kenia tiene planeado instalar un laboratorio de cultivo de tejidos. Otras como el Centro Africano de Estudios Tecnológicos (ACTS) han restringido su trabajo a estudios de políticas y difusión de información. La Academia Africana de Ciencias (AAS) anteriormente ha llevado a cabo misiones para la búsqueda de información. Otras ONG con proyectos en la región incluyen la Red Africana de Biociencias (ABN). A través de las asociaciones científicas nacionales y regionales se lleva a cabo la difusión de información sobre temas relacionados con la biotecnología. Estas incluyen a la ABN, la Asociación Africana de Entomólogos (AAIS), la Red Africana de Instituciones Científicas y Tecnológicas (ANSTI) y sus diversas subredes, la Asociación de Facultades de Ciencia de las Universidades Africanas (AFSAU) y la Asociación para el Desarrollo de las ciencias Agrícolas en Africa (AAASA).

Fuerza de trabajo y utilización de recursos

Aunque muchos de los países de la región tienen una larga tradición en la investigación, especialmente en agricultura, su base de fuerza de trabajo es todavía débil si se le compara con las tareas que necesitan llevarse a cabo. Puesto que la biotecnología es un campo fundamentalmente científico, la calidad de la capacitación y el nivel de competencia técnica necesita ser alto. Al utilizar los institutos de investigación agrícola nacionales como indicadores de la capacidad disponible, el personal de las instituciones de la región es joven y poco capacitado. Como se muestra en el cuadro 6, menos de 8% de los científicos locales de los 10 países tienen grado de doctores y un 56.7% de ellos no han realizado estudios de posgrado.

CUADRO 6
CALIFICACIÓN DEL PERSONAL EN LOS INSTITUTOS NACIONALES DE INVESTIGACIÓN AGRÍCOLA

<i>País</i>	<i>Licenciatura</i>	<i>Maestría</i>	<i>Doctorado</i>	<i>Total</i>
Botswana	7	11	2	20
Etiopía	129	59	14	202
Kenia	246	205	25	476
Lesoto	6	11	0	17
Ruanda	16	6	2	24
Somalia	33	7	0	40
Tanzania	147	134	27	308
Uganda	106	78	16	200
Zambia	51	33	4	88
Zimbabwe	109	54	32	195
Total	850	598	122	1570
Porcentaje	54.1	38.1	7.8	100

Fuente: Mkiibi y Omari, *Training for Agricultural Research*.

CUADRO 6a
FUERZA DE TRABAJO EN LAS INSTITUCIONES DE INVESTIGACIÓN EN KENIA

<i>Instituto</i>	<i>Núm. de investigadores</i>	<i>% del personal total</i>
Instituto de Investigaciones Agrícolas de Kenia	537	8.67
Instituto de Investigaciones Forestales de Kenia	112	7.43
Instituto de Investigaciones Médicas de Kenia	127	12.80
Instituto de Investigaciones Marinas y Pesqueras de Kenia	110	17.11
Instituto de Investigación y Desarrollo Industrial de Kenia	57	12.26
Instituto de Investigaciones sobre Tripanosomiasis de Kenia	38	9.05
Total	981	9.60

Fuente: Alila y Nyambati, *Science and Technology Management in Kenya*.

La participación de las actividades de investigación en las instituciones locales es relativamente pequeña y la mayoría de los recursos se utilizan para la administración general. Se estima que en Kenia sólo 15% de los fondos de las instituciones se invierte en la investigación. La misma situación ocurre en la utilización de la fuerza de trabajo de las instituciones de investigación. Por ejemplo, como se muestra en el cuadro 6, las instituciones nacionales de investigación en Kenia dedican sólo 9.6% de su fuerza de trabajo a la investigación, el resto se dedica a actividades de apoyo.

Debe señalarse que para que resulten funcionales, las instituciones requieren de ciertos niveles de personal de apoyo. Normalmente es más fácil centrarse en la

expansión administrativa que desarrollar programas que aumenten la tasa de investigadores. Esta es una situación que necesita analizarse cuidadosamente para poder identificar formas factibles de racionalizar a las instituciones y aumentar la tasa de investigadores. Zimbabwe es otro país de la región con una red institucional de investigación agrícola bien establecida. El papel de coordinar la investigación tecnológica en Zimbabwe recae en el Consejo de Investigación de Zimbabwe, el cual opera a través de comités *ad hoc*. La investigación agrícola se coordina a través del Consejo de Investigación Agrícola (ARC), el cual asesora al Ministerio de Tierras, Agricultura y Asentamientos Rurales (MLARR), así como al Departamento de Investigación y Servicios Especializados (DR&SS). El ARC opera a través de cinco subcomités relacionados con ganado y forrajes, granos, investigación de cultivos, horticultura y servicios de investigación.

El cuerpo de investigación más importante en agricultura y ganadería de Zimbabwe es el DR&SS, el cual amplía sus servicios a la industria agrícola a través de certificación de semillas, registro de pesticidas y servicios de asesoría. El departamento opera a través de 11 institutos y tiene un personal de más de 170 científicos. Sin embargo, el DR&SS centra casi toda su atención en los 8 000 grandes agricultores del país, aunque actualmente tiene la misión de servir también a casi un millón de pequeños agricultores. Agritex proporciona otros servicios agrícolas especialmente dedicados a la conservación del suelo y tecnología agrícola.

ESTADO DE LA INVESTIGACIÓN BIOTECNOLÓGICA EN LA REGIÓN

La investigación biotecnológica en la región está distribuida en todo el terreno institucional con diversos niveles de actividad, fondos, especialización y experiencia. El trabajo se lleva a cabo fundamentalmente en instituciones de investigación internacional localizados u operando en la región en las instituciones de investigación y universidades regionales. También es evidente que el sector privado (incluyendo las organizaciones paraestatales) están comenzando a interesarse en las perspectivas de la biotecnología y a proporcionar fondos a instituciones locales para conducir cierto tipo de investigación biotecnológica. Se trata fundamentalmente de grandes corporaciones con recursos financieros pero limitada capacidad de investigación, especialmente en tecnología avanzada.

No existen instituciones expresamente encargadas de realizar investigación en biotecnología. Sin embargo, se han llevado a cabo ciertos estudios de factibilidad en países como Kenia y Burundi para explorar la posibilidad de instalar centros de biotecnología. Los estudios pretenden consolidar a la biotecnología en instituciones existentes. El sector privado y las paraestatales están interesados en la biotecnología. Por ejemplo, la Kenia Seed Company está considerando la posibilidad de construir sus propias instalaciones de cultivo de tejidos. No obstante, la mayoría del trabajo se lleva a cabo en instituciones de investigación así como en universidades nacionales e internacionales.

Biotecnología agrícola

La aplicación de biotecnología en la agricultura es el área de actividades más importante de la región u existen varias razones lo que explican. Primero, la creciente producción agrícola se ha identificado como prioritaria en la mayor parte de los países de la región. Segundo, el cultivo de tejidos está más desarrollado y es más accesible que otras técnicas de la biotecnología. Tercero, la región tiene una larga tradición de investigación agrícola y por consiguiente es más probable la adopción de cualquier nueva técnica en este terreno. Cuarto, la trayectoria de los fondos del exterior se dirige más hacia la investigación agrícola que a otros sectores.

Estas razones también explican la concentración de actividades biotecnológicas en Kenia, comparada con la de otros países. La aplicación de cultivo de tejidos también refleja la importancia de la investigación agrícola en estos países. Por ejemplo, en Burundi, esta técnica se aplica más a los cultivos de tubérculos, mientras que en Kenia su aplicación es más diversificada y cubre cultivos tanto comerciales como alimentarios.

El Departamento de cultivos de la Universidad de Nairobi está realizando investigaciones en cultivo de meristemas y embriogénesis en diversos productos agrícolas, especialmente para desarrollar plantas resistentes a las plagas. Además, también se llevan a cabo técnicas de detección de virus vegetales mediante el uso de Muestras Inmuno-Absorbentes de Origen Enzimático (ELISA). Este método está siendo cada vez más utilizado en las estaciones de investigación y en instalaciones de cuarentena vegetal y conservación de germoplasma. El CIP ha sido el responsable de la introducción de estas técnicas en la región para la detección de virus en la papa, ha desarrollado nuevos cultivos de cítricos y fresa y ya se realiza investigación de cultivos como café, caña de azúcar y yuca. En la Universidad Kenyatta también se lleva a cabo investigación de cultivo de tejidos para cereales como el maíz.

En el Departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Zimbabwe se realizan investigaciones similares, donde el cultivo de tejidos se utiliza para desarrollar variedades libres de enfermedades de café, papa y jitomate. Se han clonado ciertos arbustos mejorados de café utilizando la técnica de hoja de disco de Staritsky. Durante la última década, el Instituto de Investigación del Tabaco en Zimbabwe ha venido utilizando el cultivo de polen para incorporar resistencia a dos enfermedades persistentes en una nueva variedad de tabaco así como para introducir resistencia a otras enfermedades de esta planta utilizando la variación somaclonal. Es notable que el tabaco se haya convertido en una planta modelo para la investigación biotecnológica, y en Zimbabwe, los científicos han tenido acceso a las técnicas más avanzadas. El tabaco es también el cultivo de exportación más importante del país y por consiguiente su investigación ha recibido una mayor atención.

La biotecnología desarrollada en Zimbabwe es de interés regional considerable no sólo porque el país posee una infraestructura de investigación bien desarrollada, sino también porque el país es responsable de la seguridad alimentaria de la

Conferencia de Coordinación para el Desarrollo de Africa del Sur (SADCC). Esta responsabilidad proporciona un marco para la transferencia de tecnología desarrollada en Zimbabwe hacia otros países miembros de la SADCC, aunque existe una tradición de transferencia de tecnología de Zimbabwe hacia otros países de la región.

En Kenia, la Estación Nacional de Cuarentena Vegetal (NPQS) de KARI en Mugaga, actualmente lleva a cabo el desarrollo de semilla de papa certificada a través del uso de cultivo de tejidos. La Estación Nacional de Investigación de la Papa en Tigoní realiza el desarrollo clonal de material de cultivo de tejidos a gran escala. La Corporación de Investigación Agrícola (ARC) promueve las nuevas variedades más bien entre los grandes agricultores.⁸ El material clonado se utiliza también en la industria del té y se estima que casi 15% del té producido en Kenia se basa en material clonado. La Fundación de Investigaciones sobre el Té y la Oficina del Té de Kenia son quienes han desarrollado estas variedades.

Los otros países de la región también han iniciado la investigación sobre el cultivo de tejidos en cereales. Los investigadores de la Universidad de Burundi, por ejemplo, trabajan en la propagación *in vitro* de arroz, maíz y sorgo. Además, la universidad ha establecido programas de multiplicación para el camote (de la especie *Dioscorea*), papa (*Solanum tuberosum*) y yuca (*Manihot esculenta*). El Instituto de Ciencias Agronómicas de Burundi en Bujumbura también ha iniciado trabajos similares. Por su parte, el Instituto de Investigación Agronómica y Ganadera en Gitega, Burundi, también lleva a cabo investigación de cultivo de tejidos en el cultivo de plátano. El instituto da servicio a Burundi, Ruanda y Zaire. Además, el Programa Nacional para el Mejoramiento de la Papa, apoyado por el CIP ha iniciado el trabajo en la producción masiva de esquejes de variedades seleccionadas de papa.

Uganda, el cual alguna vez tuvo una intrincada red de actividades de investigación actualmente está rehabilitando sus programas de investigación luego de años de lucha armada. Con la ayuda de diversas instituciones, incluyendo la Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA), se han iniciado planes para crear instalaciones de cultivo de tejidos en la estación de investigación en Namulonge. La investigación en esta estación estará coordinada con otras estaciones de investigación en la Universidad de Makerere.

La mayoría de los programas de cultivo de tejidos en la región se centran en cultivos alimentarios, especialmente los cultivos prioritarios de los institutos CGIAR. Esto no resulta sorprendente debido a que los institutos son una de las fuentes principales de instalaciones para la adquisición de conocimientos y capacitación. Por ejemplo, la importancia dada a la papa refleja el trabajo del CIP y el creciente interés en la yuca también se relaciona con el trabajo de la IITA. Sin embargo, las empresas del sector público o paraestatales están comenzando a apoyar la investigación en el cultivo de tejidos tanto local como a través de universidades e instituciones de investigación nacionales. La Oficina del Piretro de Kenia, por ejemplo, apoya la investigación del

⁸ Mureithi y Makau, *Biotechnology and Farm Size in Kenya*.

KARI para la producción de esquejes de piretro. La investigación ya tenido como resultado la propagación masiva de plantas libres de manatodos que también producen mayor rendimiento y son de mejor calidad.

El uso de biotecnología en la conservación de recursos genéticos es particularmente importante. El banco más importante y más grande de la región se encuentra en Addis Ababa, el cual ya se ha embarcado en un programa para aumentar su capacidad de utilización de cultivo de tejidos para la conservación de germoplasma y el Gene Bank of Kenia ha iniciado programas similares. Por su parte, se supone que el propuesto National Gene Bank of Tanzania también tendría instalaciones de este tipo. Las instituciones de investigación que trabajan en cultivo de tejidos en la región tienen instalaciones que podrían utilizarse para la conservación *in vitro* de recursos genéticos.

La biotecnología forestal también está surgiendo como una actividad importante en la región. Kenia, a través del KEFRI ha iniciado el trabajo en diversas especies de árboles. El objetivo principal de la investigación es la generación de variedades resistentes a las enfermedades y se están realizando diversos esfuerzos para multiplicar árboles propios de la región utilizando el cultivo de tejidos. Estos árboles se seleccionan por sus beneficios ambientales, especialmente en reforestación y por su valor ornamental como fuente de ingresos. El KEFRI también participa en la investigación sobre fijación de nitrógeno, especialmente debido a que se relaciona con los bosques. Otras instituciones como el Consejo de Investigaciones Agroforestales (ICRAF) están comenzando a utilizar productos provenientes del cultivo de tejidos en pruebas de campo.

Fijación biológica del nitrógeno⁹

Además del cultivo de tejidos, diversas instituciones en Africa Oriental están realizando investigaciones con la fijación del nitrógeno. Estas incluyen a casi todas las universidades de la región y prácticamente toda la investigación se lleva a cabo bajo los auspicios del proyecto de Naciones Unidas para los Centros de Recursos Microbiales (MIRCEN). El proyecto ha tenido como resultado el desarrollo de inoculantes *Rhizobium* para cultivos de legumbres en la Universidad de Nairobi. Aunque este producto ha generado un considerable interés entre los agricultores, la universidad no ha diseñado un método eficaz para su difusión.

En Tanzania, la FAO apoya un proyecto para identificar mejores cepas de rizobia. El proyecto incluye un plan para establecer un pequeño fermentador para la producción de inoculante en la Universidad de Dar es Salaam. La Universidad Sokoine también lleva a cabo investigaciones sobre la capacidad de fijación de nitrógeno de la *Crotalaria ocruleuca*, una leguminosa local utilizada ampliamente en el sur de Tanzania para el enriquecimiento del suelo. En este país y en Etiopía, Burundi, Somalia y Ruanda se han realizado diversos proyectos para la fijación del nitrógeno que utilizan diferentes especies. La informa-

⁹ Dickson, *The Nairobi MIRCEN*

ción acerca de este tipo de actividades se intercambia a través de la Asociación Africana de Fijación Biológica del Nitrógeno (AABNF).

El MIRCEN de Nairobi se localiza en la Universidad de Nairobi, en el Departamento de Ciencias del Suelo y opera en relación con el Centro Internacional para la Fisiología y Ecología de Insectos (ICIPE). El proyecto se llama "Aplicaciones de campo de tecnologías microbiales para el control biológico de plagas y vectores y el incremento de la producción de proteínas en legumbres a través de la fijación biológica del nitrógeno".

Las razones del enfoque de este MIRCEN son muchas e incluyen el hecho de que las plagas de insectos y los vectores son una amenaza importante para la producción agrícola y la salud y el bienestar de la población humana. Los esfuerzos por detener a estos vectores generalmente han consistido en pesticidas químicos. Estos productos químicos también han sido la solución sugerida para aumentar la producción agrícola y satisfacer a la creciente población del país, en esta ocasión en forma de fertilizantes químicos a base de nitrógeno. Ambas formas de implementos químicos agotan las divisas extranjeras de un país y son una amenaza importante para el medio ambiente.

Por consiguiente, el MIRCEN de Nairobi ha formado y perseguido objetivos tanto a largo como a corto plazo con altos grados de éxito en cada tipo de objetivo. Existen dos metas a corto plazo. Primero, el MIRCEN espera promover el desarrollo de un sistema para la aplicación de campo de pesticidas biológicos para el control de plagas y vectores clave en Kenia. Segundo, la meta es promover el uso de biofertilizantes en Kenia a través de las aplicaciones y la capacitación de campo.

A largo plazo, el MIRCEN espera reducir la contaminación ambiental que resulta del uso de pesticidas y fertilizantes químicos a base de nitrógeno en sistemas de bioproduktividad y servicios de salud y promover la aplicación de campo de biotecnologías ambientalmente seguras para el control de plagas y vectores y el aumento de la producción de proteínas en leguminosas.

La parte del proyecto que se relaciona con el control de plagas y vectores mediante agentes microbiales de hecho fue una fuente para capacitar a los estudiantes de maestría de la Universidad de Nairobi sobre control microbiano en el sistema de manejo integrado de plagas y vectores y el potencial que promete este sistema. El resultado directo es la terminación de los estudios de maestría de los dos estudiantes que realizaron su investigación en el ICIPE.

Los resultados del trabajo de uno de los estudiantes demuestra que la fórmula comercial de la eficacia del *Bacillus thuringiensis* es patogénica a las plagas de lepidópteros locales de los cereales y los horadores de las vainas de leguminosas. En los casos en que se aplicó este producto en el campo, el rendimiento del sorgo aumentó, por lo que la recomendación fue la utilización de éste como herramienta para el control de plagas. El segundo estudiante demostró que la eficacia del estereotipo *B thuringiensis israeliensis* puede utilizarse como larvicida de especies de mosquito en Kenia con tasas medias de mortalidad que varían de 65.10% a 89.65% en cuatro especies de mosquito.

El MIRCEN está involucrado en muchas actividades prioritarias como por ejemplo la capacitación. El Curso de Capacitación Regional para el Uso de Insectos patógenos en el Control de Plagas y Vectores del MIRCEN se llevó a cabo del 12 al 24 de octubre de 1987. Por otra parte, el MIRCEN también ayuda a difundir el uso de técnicas de control biológico y FBN mediante la celebración de cursos cortos en el laboratorio de Nairobi. Unos 215 cultivos bacterianos conforman la colección de *Rhizobium* del MIRCEN de Nairobi, el cual sirve como referencia de recolección de cultivos y es también el depósito de muchos recursos genéticos valiosos.

Por supuesto, el MIRCEN no tendría objeto sin los servicios de distribución que permitan que este tipo de tecnología llegue a quienes lo necesitan, es decir, los agricultores. Estos obtienen inoculantes que se venden en sobres de 100 gr a precios accesibles directamente del laboratorio de MIRCEN. Puesto que esto puede ser difícil para quienes viven lejos y no tienen acceso a medios de transporte, los sobres también pueden obtenerse por correo o en las exposiciones de la Sociedad Agrícola de Kenia (ASK).

Las instrucciones de los sobres son fáciles de comprender, explicadas tanto en inglés como en kiswahili y de fácil aplicación. El MIRCEN también debe asegurarse que la calidad de los inoculantes sea buena y por consiguiente inició en 1984 el programa de control de calidad de los centros que consiste en una serie de pruebas en sobres seleccionados al azar para garantizar que se distribuyan productos de calidad al agricultor.

En los resultados de un estudio, las pruebas de inoculación de *Rhizobium phaseoli* en campos de ciertos agricultores fueron positivos en su intento para determinar si la fijación de dinitrógeno podía equiparar el nitrógeno proporcionado por las tasas recomendadas de fosfato de diamoniaco (FDA) para variedades puras de frijol seco común (*Phaseolus vulgaris*). Como un tipo de servicio de difusión de información, el MIRCEN de Nairobi también realiza exposiciones en centros de capacitación de agricultores para llegar a éstos en el plano distrital, pero puesto que este tipo de capacitación no llega a gran número de personas, las exposiciones ahora se han ampliado para incluir también las de la ASK.

Todo tipo de publicaciones sirven para el intercambio de ideas e información, lo cual permite que un centro siga trabajando y ampliándose. El centro de *Rhizobium* de Nairobi publica semestralmente el *Boletín del MIRCEN* para promover el intercambio en torno a los dos temas principales del centro: la FBN y el control biológico. Con cada compra de inoculante, el agricultor recibe un folleto en torno al uso y los beneficios de los inoculantes de leguminosas preparado por el centro para garantizar el uso adecuado y buenos resultados.

El MIRCEN fue responsable de la publicación del acta de sesiones de la Primera Conferencia de la Asociación Africana para la Fijación Biológica del Nitrógeno (AABNF) celebrada en Nairobi en 1984 y también publicó y pondrá al día un catálogo que contiene información sobre las actuales reservas de cultivos del centro. El catálogo de la colección de cultivos fue el primero en su tipo.

En general, el MIRCEN ha avanzado mucho para lograr los objetivos que se impuso en sus inicios. El logro más importante es el desarrollo y distribución de inoculantes

que ha ayudado a aumentar la producción de alimentos en pequeñas granjas. El MIRCEN ahora espera comercializar la tecnología que desarrolló como proyecto piloto.

Otro logro es que el centro de investigación ha concluido que existe un gran potencial para el uso de microbios como medio para el control biológico de plagas y vectores de enfermedades tropicales en la agricultura. Específicamente, el MIRCEN favorece un mayor trabajo en aislantes locales para el uso del control biológico puesto que muy frecuentemente se utilizan aislantes importados que son mucho más costosos.

Debido a que aún se carece de resultados conclusivos, las breves descripciones de las actividades del MIRCEN indican que el trabajo sigue avanzando para lograr objetivos a corto y largo plazo del centro. Un estudio está analizando los efectos de altas temperaturas (30-42°C) en la supervivencia, crecimiento y efectividad del *Rhizobium phaseoli* aislado localmente. Otro estudio es la evaluación de la nodulación, crecimiento y fijación de dinitrógeno 15 N de 12 tipos de líneas de frijol de alto rendimiento (*Phaseolus vulgaris*) en un estudio de campo en Kenia.

El tercer proyecto se concentra en la selección de tipos de *Rhizobium phaseoli* para determinar la tolerancia al ácido, determinar si ciertos tipos tolerantes al ácido mejorarían la FBN del frijol común (*Phaseoli vulgaris*). La fijación de dinitrógeno en legumbres de pastura y sus efectos en la productividad de las pasturas en Kenia es también parte de la agenda del MIRCEN de Nairobi.

Los planes más recientes del MIRCEN incluyen la organización de un curso de capacitación regional sobre garantía de calidad y validación de inoculantes de *Rhizobium* para 10 microbiólogos con una duración de tres semanas. En el momento de la publicación del informe, tentativamente debía celebrarse en octubre de 1988. El MIRCEN también proyecta la capacitación de seis jóvenes candidatos africanos en el control biológico de los mosquitos de la malaria y la mosca doméstica en colaboración con el ICIPE y el Laboratorio de Biotecnología del MIRCEN en el Cairo, con el objeto de crear un núcleo de candidatos para el desarrollo y la instrumentación de un programa regional integrado.

La fijación biológica del nitrógeno también se ha desarrollado en otros países de la región como Malawi y Zimbabwe que han venido distribuyendo inoculantes a las granjas desde hace varios años. Estos países también planean ampliar su trabajo hacia micorrizas liberadoras de fosfatos.

Biotecnología animal

Una de las fuentes más importantes de biotecnología en la región han sido los centros internacionales de investigación. Casi todos los centros CGIAR tienen programas en la región. Particularmente importantes son los Laboratorios Internacionales para la Investigación de Enfermedades Animales (ILRAD) y el Centro Internacional Ganadero para África (ILCA), los cuales pertenecen a los CGIAR e ICIPE.

Los centros han adquirido considerable experiencia en áreas especializadas de investigación biotecnológica. Dados los recursos de que disponen, estos centros han

mantenido el acceso a algunas de las técnicas más avanzadas en este tipo de tecnología. Ello ha mejorado gracias a su dedicación a áreas específicas de investigación que les permiten acumular experiencia y memoria institucional. Todos los centros CGIAR tienen algún tipo de actividades en biotecnología.

El cometido de los ILRAD es trabajar sobre la Fiebre de la Costa Este (ECF) y la tipanosomiasis que supuestamente representan una pérdida anual de tres millones de cabezas de ganado anuales. Estas enfermedades han impedido el establecimiento de ganado en unos siete millones de kilómetros cuadrados de terrenos que podrían mantener a más de 120 millones de cabezas y a un número similar de rumiantes menores. Al tratar estas enfermedades, los ILRAD se han embarcado en diversos programas de investigación biotecnológica dirigida a la creación de vacunas.

Para poder llevar a cabo la investigación de manera eficaz, los ILRAD han debido desarrollar distintos métodos de diagnóstico; desarrollaron anticuerpos monoclonales específicos a la especie contra tres especies de tripanosomas que infectan al ganado. Estos anticuerpos actualmente se utilizan para identificar, aislar y purificar los antígenos correspondientes utilizados en serodiagnóstico. Los ILRAD también han utilizado la tecnología de anticuerpos para tipificar poblaciones y subpoblaciones de linfocitos bovinos. Los reagentes han sido vitales en la caracterización del tipo de célula infestada por la *Theileria parva*. Además, los anticuerpos monoclonales contra las etapas intralinfocíticas de desarrollo de la *T. Parva* han demostrado que existen tipos distintivos de esta infección.

También se han realizado avances similares en la propagación *in vitro* de tripanosomas africanos. El ILRAD ha desarrollado y estandarizado un sistema *in vitro* para apoyar la producción de metacíclicos de *Tripanosoma congolense*. Para 1985 ya se habían establecido ocho líneas de cultivo para la producción de los metacíclicos. De éstos, seis líneas provenían de reservas de clones. En su trabajo, el ILRAD ha debido utilizar técnicas de ingeniería genética, especialmente para desarrollar reagentes de hibridación molecular para estudios epidemiológicos de *T. congolense* y *T. vivax* y ha sintetizado copias complementarias de ADN (cADN) de mDRN derivado de cuatro clones de *T. congolense* para una biblioteca.

El ILRAD ha llevado su investigación a mayores límites al analizar la base genética de la resistencia contra el tripanosoma africano. El objetivo de la investigación es identificar los genes que codifican la resistencia y transferirlos a la línea de gérmenes del ganado. Por consiguiente, el ILRAD está diferenciando diversas razas de ganado y ha adquirido la N'Dama de África del Este resistente a través de transferencia de embrión. Para facilitar la investigación, ha utilizado técnicas de superovulación para reproducir este tipo de ganado. Uno de los principales logros de estos laboratorios es el trazo del genoma del *T. parva parva*, el cual se organiza en cuatro cromosomas y cuyo mapa de restricción está en sus últimas etapas antes de quedar terminado.

El ILRAD también está aumentando su aplicación de biotecnología a la investigación ganadera. Las principales áreas de investigación incluyen el diagnóstico de los procesos de reproducción, su fisiología y embriología, análisis de genomas,

transferencia de genes, producción de promotores, manipulación de microfauna de rumiantes, inmunización y diagnóstico de enfermedades. Ciertas técnicas como la luteinización de la hormona ELISA, la superovulación, transferencia de embriones, análisis de genomas, manipulación de microfauna del rumen y la prueba de anticuerpos policlonales (para diagnosticar la *Fasciola hepatica*) ya se encuentran en etapas avanzadas. Las otras están en etapas iniciales de aplicación.

Debe mencionarse que existe cierta competencia en la región respecto al desarrollo de vacunas contra enfermedades animales entre diversas instituciones internacionales y nacionales. Además, existe un creciente interés en la transferencia de genes resistentes a otros animales e incluso la domesticación de ciertos bovinos resistentes a las enfermedades locales. Algunos científicos de la región también han intentado explorar las perspectivas de diversificar la producción de ganado mediante la inclusión de fauna silvestre. Las posibilidades de utilizar la biotecnología en el proceso han ayudado a alentar las perspectivas de este tipo de avances.

El desarrollo de la biotecnología animal en otros países se ve obstaculizada por la falta de equipo y conocimientos básicos. Por ejemplo, la Universidad Sokoine en Morogoro tiene proyectado llevar a cabo una amplia variedad de investigaciones en biotecnología y crear un centro de cultivo de tejidos. El Departamento de Veterinaria de la universidad desearía incursionar en el trasplante de embriones, pero no puede hacerlo debido a su experiencia limitada y a la falta de equipo básico, incluyendo una máquina de ultracentrifugado para la preparación de muestras de antígenos y equipos de diagnóstico de ELISA. También requieren de equipo HPLC para la investigación de drogas.

CUADRO 7
COSTOS MUNDIALES DE LAS PRINCIPALES ENFERMEDADES ANIMALES

<i>Especies</i>	<i>Enfermedad</i>	<i>Millones de dólares</i>
Ganado, oveja, cabras	Fiebre aftosa	50,000
	Fiebre del Rift Valley	7,500
Ganado	Lengua azul	3,000
	Leptospirosis	4,500
	Brucelosis	3,500
	Mastitis	35,000
	Diarrea de ternera	1,750
Cerdos	Enfermedad de	
	Aujeszky	650
	Pasteurellosis	500
	Triquinelosis	2,500
	Gastroenteritis	1,800
Aves	Infecciones de retrovirus	1,000
	Colera de aves	200

Fuente: Technology Management Group Inc..

Parecería que como resultado de diversos factores existen perspectivas para una nueva oleada de domesticación de animales. Primero, las dificultades para desarrollar vacunas contra ciertas enfermedades propias de la región están obligando a los científicos a repensar sus estrategias de investigación y considerar las posibilidades de capturar la base de recursos que representa la fauna silvestre.

Segundo, la situación económica de la región está obligando a algunas comunidades a comenzar a experimentar con la domesticación. Esto ocurre tanto en plantas como en animales. Las investigaciones más recientes del Centro Africano de Estudios Tecnológicos (ACTS) han revelado amplios esfuerzos de domesticación por parte de los agricultores en el oeste de Kenia. Y en Zambia, la domesticación de la gallina de guinea se ha vuelto un verdadero desafío para los productores de aves de corral. Debe subrayarse que el ganado desempeña un papel significativo en las economías de Kenia, Somalia, Etiopía y en menor grado para otros países de la región. Por consiguiente, la aplicación de la biotecnología en este subsector probablemente contribuirá a su desarrollo general. Es notable que las enfermedades animales resultan un costo importante y el mercado para las nuevas drogas que las curan es considerable (cuadro 7). Los países en desarrollo pierden 35% de su producción ganadera debido a las enfermedades.

Cultivos forrajeros

El área de los recursos genéticos en forrajes se ha vuelto cada vez más importante en la región. Ello se debe fundamentalmente a la importancia dada a la producción ganadera. La biotecnología actualmente se utiliza para el desarrollo de los recursos genéticos forrajeros. La mayoría de este trabajo se lleva a cabo en el Centro Internacional Ganadero para África (ILCA) en Addis Ababa. El trabajo que realiza el ILCA cubre conservación *in vitro*, micropropagación, eliminación de enfermedades, germinación *in vitro*, y creación de variabilidad y desarrollo de técnicas de diagnóstico. La aplicación de la biotecnología a los recursos genéticos del forraje se ha centrado en tres géneros de pastos, *Cynodon*, *Digitaria* y *Brachiaria*. La biotecnología, especialmente para la regeneración también se ha aplicado a la *Sesbania* y la *Acacia* y ya se está realizando investigación de cultivo de tejidos en *Sesbania*, *Erytharina* y *Leucaena*.

Investigación en biomedicina humana

Se han realizado importantes avances en la aplicación de biotecnología en la investigación biomédica. El énfasis inicial fue desarrollar equipos de diagnóstico para pruebas de diversas enfermedades y con propósitos de investigación. Es notable que mientras que en los países industrializados la investigación biomédica humana y animal se llevan a cabo de manera separada, la situación en África es diferente.

En muchas de las principales enfermedades tropicales la investigación ha requerido el entendimiento de su ecología, el cual incluye el ganado y la fauna

silvestre. Esto ha posibilitado que la investigación biomédica rebase los confines de su disciplina inmediata. Por ejemplo, los investigadores del Instituto de Investigaciones Médicas de Kenia regularmente comparten sus experiencias y descubrimientos con los del Instituto para la Investigación de la Tripanosomiasis en Kenia (KETRI), los cuales también desarrollaron equipos de diagnóstico utilizando técnicas de biotecnología.

La colaboración en investigación también se ha ampliado a instituciones interesadas en temas epidemiológicos. Por ejemplo, el Laboratorio Internacional para la Investigación de Enfermedades Animales (ILRAD) colabora con la Fundación Africana de Investigación Médica (AMREF) así como con la Salud Pública Veterinaria de la Universidad de Nairobi en la aplicación de huellas de ADN para determinar las diferentes razas de parásitos como el hidatid.

El KEMRI ha realizado grandes esfuerzos en la aplicación de biotecnología en la medicina humana. Su investigación se dirige a enfermedades tropicales como leishmaniasis, malaria y esquitomiasis. Además, el KEMRI lleva a cabo investigaciones en el campo de la hepatitis β , hipertensión, diabetes y SIDA. La investigación se ha centrado en el desarrollo de técnicas de diagnóstico y vacunas mediante la utilización de tecnología de hibridoma e ingeniería genética.

El KEMRI también ha trabajado de manera cercana con los médicos herbolarios locales en la determinación de plantas locales con propiedades farmacéuticas, esfuerzos cuyo resultado ha sido el descubrimiento de una droga contra la hipertensión.

Otros países de la región han entrado en el terreno de la biotecnología médica con la creación de equipos de diagnóstico. El avance más significativo hasta ahora ha sido el desarrollo de una prueba de ADN específico para la Salmonella en el Departamento de Ciencias Biológicas de la Universidad de Zimbabwe. La prueba se utiliza para detectar la salmonella en los alimentos, el agua, la diarrea clínica y los servicios veterinarios. La universidad ha estado buscando socios para comercializar el producto mundialmente. También se lleva a cabo una investigación en este mismo departamento para desarrollar una prueba diagnóstica para el virus de la hepatitis β y la gonorrea nisseria productora de penicillinasa (PPNG).

Biotecnología industrial

El desarrollo de la capacidad del interferón en Kenia ha ilustrado el hecho de que incluso si en los países de África del Este se llega a avances importantes en la investigación biotecnológica, podrían no ser capaces de comercializar sus resultados debido a una capacidad de ingeniería química limitada. Este punto hasta ahora se ha demostrado en el caso del desarrollo de un equipo de diagnóstico para la salmonella inventado en Zimbabwe.

La capacidad manufacturera de estos países es aún limitada. Por ejemplo, en Burundi la manufactura representa sólo aproximadamente 9% del PNB, es decir, la mayor parte de la manufactura de alimentos procesados. El sector de los

productos químicos, clave en la manufactura basada en la biotecnología es casi inexistente y su participación en la manufactura ha disminuido en los últimos años.

En Etiopía, la capacidad manufacturera está en el procesamiento de alimentos, los textiles, las bebidas y la construcción. La manufactura representa el 13% del PNB y el país tiene una política muy activa respecto de la adquisición de tecnología pero se subraya más la producción de maquinaria ligera y pesada. Al igual que otros países africanos, Kenia sigue siendo bastante débil en el sector manufacturero.

Es importante señalar que los sectores industriales de los países de África del Este están dominados por empresas extranjeras que no requieren de los insumos de investigación de la sociedad de investigación local. Aunque hasta ahora los países también han experimentado presiones excesivas que requieren del desarrollo de una base industrial, pocos de ellos han formulado políticas específicas para llegar a ello. Estos incluyen a Kenia, Tanzania y Etiopía. No existen empresas de fabricación de productos químicos locales en estos países y aún carecen de los conocimientos que se requieren para la purificación de la biotecnología.

Biotecnología mineral

El uso de biotecnología en la minería se está convirtiendo en una actividad muy importante, particularmente en América Latina. A pesar de que algunos de los países africanos poseen minerales en bajas concentraciones y por consiguiente no pueden recuperarlos a costos competitivos, las actividades de minería biotecnológica son pocas en este continente. Sin embargo, existe cierto interés al respecto por parte de la Anglo-American Corporation, gigante empresa minera, quien abordó al Departamento de ciencias Biológicas de la Universidad de Zimbabwe, para que iniciara la investigación para el uso adecuado de bacterias en la lixiviación mineral.

Capacitación

A pesar de que muchos de los países de la región han reconocido la importancia de la biotecnología, sólo unos cuantos han establecido programas de capacitación específicos en biotecnología. La Universidad de Zimbabwe ha creado un curso de maestría en biotecnología. Otras universidades están considerando la posibilidad de incluir cursos similares en la Universidad de Nairobi, la Universidad Moi, la Universidad Jomo Kenyata y la Universidad de Agricultura y Tecnología.

También existen diversos cursos cortos que se ofrecen para la capacitación en tecnologías específicas en varias instituciones, a menudo colaborando con instituciones internacionales como el Consejo Internacional de Uniones Científicas (ICSU). En Sudáfrica, este tipo de cursos se ofrecen en gran medida a través de SAGENE, institución que no tiene par en el resto de los países de la región. El SAGENE sigue los pasos del Comité del ICSU sobre Experimentación Genética (COGENE).

Temas de propiedad intelectual y reglamentación

El régimen de propiedad intelectual en la región es aún débil y casi todos los países carecen de provisiones en su legislación que cubran inventos en biotecnología. Además, la mayor parte de la investigación se conduce a través de programas internacionales o de donaciones y por consiguiente, los nuevos inventos a menudo son propiedad del donador. Y puesto que gran parte de la investigación se dedica a adoptar las tecnologías disponibles al medio ambiente local, las perspectivas para realizar descubrimientos en investigación son pocas.

Kenia, Botswana, Lesoto y Zimbabwe cubren la protección de los productos biotecnológicos. Tanzania tiene una ley de patentes basada en las leyes modelo propuestas por la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO). De éstas, la ley en Kenia es la más desarrollada por lo que toca a la biotecnología, ya que además de las provisiones generales de patentes, también exige que las patentes basadas en organismos vivos estén acompañadas por el depósito de estas formas de vida. Por otra parte, la ley impide la patente de inventos que se consideren contrarios a la conservación del medio ambiente. Esta provisión podría cubrir la liberación de microorganismos producto de ingeniería genética en el medio ambiente. Kenia es el único país en el mundo donde se cubren cuestiones ambientales en el nivel de los inventos.

Uganda aún opera un sistema dependiente de patentes, el cual obliga a los inventores a buscar la protección del Reino Unido y solicitar su registro en Uganda. Los países en que han existido regímenes de propiedad intelectual, ya han sido superados por el desarrollo en la biotecnología. Además, para mantener un régimen de propiedad intelectual eficaz se requiere de instalaciones capaces de mantener especímenes. La disposición de este tipo de instalaciones dependerá de la capacidad general de biotecnología en el país.

Lo mismo se aplica a las medidas reguladoras. No existe país en la región con una política explícita respecto a la investigación en biotecnología. La mayoría de las instituciones de investigación siguen los lineamientos de protocolos internos y las cuestiones éticas se tratan a través de comités existentes. Existen ciertas preocupaciones en algunos círculos científicos acerca de que la ausencia de regulaciones respecto a la investigación en biotecnología podría convertir a la región en una zona de pruebas para nuevos productos, especialmente en programas de colaboración con investigadores de países como Estados Unidos y Alemania Occidental que poseen reglamentos muy estrictos respecto a la liberación de microorganismos genéticamente modificados.

Ciertos acontecimientos recientes han demostrado que existe gran interés entre los países industrializados para realizar pruebas con ciertos productos biotecnológicos en África. Por ejemplo, entre algunos de estos productos está una vacuna contra la ictericia hematórica desarrollada en la Universidad de California en Davis, cuyo mercado objetivo principal es África. Sin embargo, la realización de tales pruebas debe cumplir con las normas estadounidenses.

La vacuna Plowright se desarrolló a través de un proyecto de investigación cooperativa con la Oficina de Agricultura de la Agencia Estadunidense para el Desarrollo Internacional (AID). La vacuna ya ha sido probada bajo condiciones restringidas en el Centro de Enfermedades Animales de Plum Island, que forma parte del Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Sin embargo, la exportación de la vacuna requerirá la aprobación de los países anfitriones.

Para Kenia se han recomendado acuerdos institucionales particulares, los cuales incluyen la creación de Comités Institucionales de Bioseguridad (IBCs). Los objetivos de los IBCs son demostrar que ya se ha investigado un proceso de aprobación objetivo; proporcionar foros para tratar cuestiones de bioseguridad; producir recomendaciones finales para la aprobación por parte de las autoridades gubernamentales; garantizar el cumplimiento con los reglamentos y la legislación, y emitir las aprobaciones formales de los países anfitriones.

Aunque las medidas propuestas reducirían la carga de las aprobaciones de bioseguridad por parte de los gobiernos, se teme que deja demasiado poder y responsabilidad en manos de las instituciones participantes. La opinión es que un proceso de reglamentación tal vez debería ser independiente de quienes llevan a cabo la investigación. Este asunto recientemente se ha presentado en Kenia y ha coincidido con las primeras declaraciones respecto a cuestiones de bioseguridad.

En la práctica constitucional de Kenia, cualquier pronunciamiento ministerial se trata como política. Sin embargo, esta política necesita articularse a través de la maquinaria administrativa. En febrero de 1990, el Ministro de Investigación, Ciencia y Tecnología de Kenia, George Muhoho declaró que el gobierno permitiría la realización de pruebas de productos biotecnológicos en Kenia sin la necesidad de garantizar su seguridad. En efecto, no existe la necesidad de probar un producto si de antemano se garantiza su seguridad. A este respecto, la declaración podría parecer redundante.

Sin embargo, sienta un precedente de política en la región al requerir que los productos sean comprobadamente seguros antes de su aplicación en Kenia. Desde cualquier punto de vista práctico, este pronunciamiento necesitaría que los productos se probaran en otro lugar antes de su introducción al país. Lo que se espera que siga es una legislación específica que delinearé la posición de Kenia respecto a la bioseguridad. Esta cuestión ha surgido en un momento en que el país está enfrentando una serie de enfermedades en cosechas y bosques recientemente introducidos al país y por consiguiente los diseñadores de políticas están conscientes de las implicaciones de introducir nuevas formas de vida.

CONCLUSIONES

Los esfuerzos por apoyar la investigación biotecnológica en la región necesitan basarse en un entendimiento del estado actual de las economías y de diversificar la producción y hallar sustitutos para los actuales cultivos comerciales. Esto requie-

re de una cuidadosa elección de subsectores capaces de hacer avanzar a las economías hacia una nueva fase de productividad y comercio internacional. Además, requiere la construcción de cierta capacidad de investigación en áreas clave. La biotecnología ofrece posibilidades para la diversificación de las economías, y simultáneamente satisfacer las necesidades básicas de la gente, al menos en el contexto del aumento del rendimiento, el manejo de las presiones ambientales para los cultivos y la reducción de pérdidas relacionadas con las plagas.

Una encuesta respecto a las actividades biotecnológicas en el Este de Africa revela una gran variedad de actividades distribuidas en todo el terreno institucional. El espectro de las actividades cubre la ingeniería genética, los hibridomas y el cultivo de tejidos. Diversos productos biotecnológicos ya han surgido. La investigación se conduce en los centros internacionales de investigación, instituciones nacionales y universidades. Las áreas clave de investigación reciben gran apoyo de donadores tradicionales para la investigación agrícola.

Traducción: Lili Buj

GLOSARIO

ACTS	Centro Africano de Estudios Tecnológicos
IDRC	Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo
OAU	
APPER	Programa Prioritario para la Recuperación Económica de Africa
UN-PAAERD	Programa de Acción de Naciones Unidas para la Recuperación Económica y el Desarrollo de Africa
TCCP	Cultivo de Tejidos para Proyecto de Cultivos
RFLP	Poliformismo de restricción del largo de fragmentos
IAR	Instituto de Investigaciones Agrícolas
ISAR	Instituto de Ciencias Agronómicas de Ruanda
KARI	Instituto de Investigaciones Agrícolas de Kenia
KEMRI	Instituto de Investigaciones Médicas de Kenia
KETRI	Instituto de Investigaciones sobre Tripanosomiasis de Kenia
KEFRI	Instituto de Investigaciones Forestales de Kenia
ILRAD	Laboratorio Internacional para la Investigación de Enfermedades Animales
ICIPE	Centro Internacional para la Fisiología y Ecología de Insectos
TARO	Organización de Investigación Agrícola de Tanzania
TALIRO	Organización de Investigaciones Ganaderas de Tanzania
NIMR	Instituto Nacional de Investigaciones Médicas
TPRI	Instituto de Investigaciones sobre Pesticidas de Tanzania
TWRI	Instituto de Investigaciones sobre Fauna Silvestre de Tanzania

TAIFIRI	Instituto de Investigaciones Pesqueras de Tanzania
UAC	Centro Agrícola de Uyole
NHRTI	Instituto Nacional de Investigación y Capacitación Hortícola de Tanzania
CSIR	Consejo Sudafricano para la Investigación Científica e Industrial
LMCB	Laboratorio de Biología Molecular y Celular
SAGENE	Comité Sudafricano para la Manipulación Genética
AAS	Academia Africana de Ciencias
ABN	Red Africana de Biociencias
AAIS	Asociación Africana de Entomólogos
ANSTI	Red Africana de Instituciones Científicas y Tecnológicas
AFSAU	Asociación de Facultades de Ciencia de las Universidades Africanas
AAASA	Asociación para el Desarrollo de las Ciencias Agrícolas en Africa.
ARC	Consejo de Investigación Agrícola
MLARR	Ministerio de Tierras, Agricultura y Asentamientos Rurales
DR&SS	Departamento de Investigación y Servicios Especializados
ELISA	Muestras Inmuno-Absorbentes de Origen Enzimático
SADCC	Conferencia de Coordinación para el Desarrollo de Africa del Sur
NPQS	Estación Nacional de Cuarentena Vegetal
IAEA	Agencia Internacional de Energía Atómica
ICRAF	Consejo de Investigaciones Agroforestales
AABNF	Asociación Africana de Fijación Biológica del Nitrógeno
ASK	Sociedad Agrícola de Kenia
ILCA	Centro Internacional Ganadero para Africa
ECF	Fiebre de la Costa Este
AMREF	Fundación Africana de Investigación Médica
PPNG	Gonorrea naisseria productora de penicillinasa
ICSU	Consejo Internacional de Uniones Científicas
COGENE	Comité del ICSU sobre Experimentación Genética
AID	Oficina de Agricultura de la Agencia Estadunidense para el Desarrollo Internacional