

# La innovación en agricultura como herramienta de la política de seguridad alimentaria: el caso de las biotecnologías agrícolas

Andrea Sonnino\*  
John Ruane\*\*

*Les droits de l'homme commencent par un petit déjeuner.*  
(Los derechos del hombre empiezan con el desayuno).

Léopold Senghor

*La storia della cultura è quindi la storia delle innovazioni: quali sono state proposte, quali hanno avuto fortuna e perché. La motivazione che conduce a creare o accettare un'innovazione è più o meno sempre la stessa: si osserva un bisogno e si cerca di andargli incontro*

La historia de la cultura es la historia de las innovaciones: aquellas que se han propuesto, aquellas que tuvieron éxito y por qué. La motivación que lleva a crear y a aceptar una innovación es más o menos siempre la misma: se observa una necesidad y se busca encontrar una solución.

Luigi Luca Cavalli Sforza

---

\* Doctor en Ciencias Agrícolas por la Universidad de Bologna. Ha sido Investigador en genética y mejoramiento de plantas para la Agenzia Nazionale per le Nuove Tecnologie, l'Energia e lo Sviluppo Economico Sostenibile (ENEA); y en el Centro Internacional de la Papa en Perú. Miembro de asociaciones científicas y profesionales, como la European Association for Potato Research (EAPR), la Società Italiana di Genetica Agraria (SIGA), la Federazione Italiana Dottori in Agraria e Forestali (FIDAF), entre otras. Actualmente es Jefe de la Subdirección de Investigación y Extensión, Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO, Roma, Italia. [andrea.sonnino@fao.org](mailto:andrea.sonnino@fao.org).

\*\* Doctor en Genética Animal por la Universidad de Edimburgo, Escocia. Ha trabajado como científico en el área de genética mejorada de los animales domésticos en Italia, Francia y Noruega. Actualmente trabaja en la FAO, Roma, Italia, donde desempeña una actividad de Documentación y Difusión de Información relacionada con las biotecnologías. [john.ruane@fao.org](mailto:john.ruane@fao.org).

## Introducción

Hacia el fin de la primera década del siglo XXI se han producido en el mundo alimentos más que suficientes para alimentar a una población mundial de cerca de siete mil millones de habitantes. Sin embargo, en los países en desarrollo alrededor de una de cada seis personas todavía padece hambre crónica, lo cual plantea una situación tan terrible, que de ninguna manera puede aceptarse.

Este capítulo presenta argumentos en torno a una de las responsabilidades más importantes de la humanidad –la seguridad alimentaria mundial– y sobre los desafíos cada vez más acuciantes que el mundo debe afrontar para alcanzarla, como el cambio climático. Examina, asimismo, la contribución que la innovación en agricultura puede ofrecer para hacer frente a estos problemas y analiza el posible rol de las biotecnologías agropecuarias en este empeño.

## Los desafíos globales

### Seguridad alimentaria

Se estima que en 2010 existían en el mundo un total de 925 millones de personas desnutridas (FAO & PMA, 2010). Los países en desarrollo representan el 98 % de esta cifra; dos terceras partes de ellas viven en siete países (Bangladesh, China, la República Democrática del Congo, Etiopía, la India, Indonesia y Pakistán); y más del 40 % en China y la India. Las regiones con el mayor número de personas mal alimentadas son Asia y el Pacífico, donde vive el 62 % de las personas afectadas por el hambre. La zona con la mayor proporción de personas desnutridas es el África subsahariana, con un 30 %.

Para el presente estudio es necesario definir ante todo lo que se entiende por seguridad alimentaria. Existe seguridad alimentaria cuando todas las personas tienen de forma permanente acceso físico y económico a suficientes alimentos inocuos y nutritivos para satisfacer sus necesidades alimenticias y sus preferencias en cuanto a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana (Schmidhuber y Tubiello, 2007). Las causas de la inseguridad alimentaria son la no disponibilidad de alimentos, escaso poder adquisitivo, una distribución no apropiada o un uso inadecuado de los alimentos en los hogares.

El logro de los objetivos de la seguridad alimentaria supone la realización simultánea de cuatro dimensiones, así: la disponibilidad, el acceso y la utilización de los alimentos y la estabilidad del sistema alimentario.

La primera se refiere a la disponibilidad de alimentos de buena calidad y nutritivos, procedentes de fuentes locales, regionales e internacionales. Comprende, por tanto, la producción y elaboración de los alimentos; las importaciones y exportaciones comerciales; la disponibilidad de reservas alimentarias y la ayuda alimentaria. Muchos países en desarrollo, como los de América Latina y el Caribe poseen una gran capacidad de producción, importación y exportación de alimentos, de manera que la disponibilidad no es el problema principal para la seguridad alimentaria en la región (FAO, 2008).

La segunda se relaciona con el acceso físico y económico a los alimentos a fin de llevar una vida activa y sana. Ello comprende infraestructuras de comercialización y transporte; sistemas de distribución de alimentos y mercados; poder adquisitivo, o sea que la población tenga el dinero para comprar los alimentos convenientes; programas sociales que garanticen el acceso a productos nutritivos y comidas escolares completas y apetecibles para los niños. Si hay alimentos, pero no se tiene el dinero para comprarlos, las personas padecen inseguridad alimentaria. Para gran parte de los países en desarrollo, incluyendo los de América Latina y el Caribe, esta es la dimensión más sensible.

La tercera dimensión tiene que ver con una utilización segura y saludable de los alimentos. Ello significa un estado de buena salud, porque los individuos sanos pueden hacer un uso apropiado de ellos; la posibilidad de elegir alimentos nutritivos, de calidad e inocuos para todos los grupos de edad; y acceso al agua potable y al saneamiento.

La cuarta dimensión atañe al hecho de que, para gozar de la seguridad alimentaria, una población, hogar o individuo deberían tener acceso a alimentos suficientes en todo momento y no correr el riesgo de perderlos como consecuencia de dificultades repentinas (por ejemplo, una crisis económica o un evento climático) o de fenómenos cíclicos como la volatilidad de los precios (FAO, 2006). Este factor está cobrando cada vez más importancia debido a la crisis económica mundial y a los problemas causados por el cambio climático a los que hace frente todo el mundo, especialmente los países en desarrollo.

Una meta del primer Objetivo de Desarrollo del Milenio es reducir a la mitad, entre 1990 y 2015, la proporción de personas que sufren hambre. Las estadísticas (FAO & PMA, 2010) indican que se han alcanzado algunos progresos en la consecución de esta meta, ya que la prevalencia del hambre pasó del 20 % de personas desnutridas en 1990–1992 a 16 % en 2010. Sin embargo, como la población mundial sigue creciendo, la disminución proporcional de quienes padecen hambre esconde el aumento numérico efectivo. En efecto, la cifra de afectados por el hambre en los países en desarrollo se ha elevado de 827 millones en 1990–1992 a 906 millones en 2010.

Los datos de 2005-2007 (FAO-PMA, 2010) indican que en el África subsahariana, el Congo, Ghana, Malí y Nigeria alcanzaron la meta del primer Objetivo de Desarrollo del Milenio y que Etiopía y otros estaban cerca de lograrlo. En Asia, la reducción prevista se logró en Armenia, Myanmar y Vietnam, y otros se estaban aproximando, sobre todo China. En América Latina y el Caribe lo hicieron Guyana, Jamaica y Nicaragua, mientras Brasil, entre otros, se estaba acercando.

La otra cara de la moneda es que el entorno socioeconómico en rápida evolución puede empeorar drásticamente la seguridad alimentaria de los países en desarrollo. Según las proyecciones, para el año 2050 la población mundial habrá llegado a más de 9 mil millones de habitantes. Casi todo el incremento se producirá en los países en desarrollo (Naciones Unidas, Population Division, 2011). Además, la migración actual de las zonas rurales a las zonas urbanas continuará, de manera que para 2050 alrededor del 70 % de la población mundial será urbana (comparado con el 50 % de hoy). En el futuro también deberían aumentar los ingresos en los países en desarrollo, lo que determinará cambios en la alimentación, entre ellos, una disminución de la proporción de cereales y otros cultivos básicos y un aumento de las hortalizas, las frutas, el aceite, la carne, los productos lácteos y el pescado. Con una población mayor, más urbana y, en promedio, más rica, se estima que en 2050 la demanda mundial de alimentos será mayor 70 % que la de hoy y un ciento %, en los países en desarrollo (FAO, 2009).

## Cambio climático

El segundo desafío global es el cambio climático, que tiene extensas consecuencias sobre la agricultura (IPCC, 2007), porque afecta la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos y altera tanto las modalidades de la producción agrícola como los regímenes de distribución de las plagas, malas hierbas y enfermedades que amenazan los cultivos y el ganado. Se prevé que los efectos globales de este fenómeno en la agricultura y en la seguridad alimentaria serán cada vez más negativos, especialmente en las zonas ya vulnerables a las catástrofes y a la inseguridad alimentaria. Adicionalmente, un aumento de temperatura de 2 °C, que representa el cambio mínimo predecible para este siglo, llevará a una merma sustancial de la productividad agrícola en los países en desarrollo: se ha estimado que la pérdida permanente de ingresos anuales per cápita llegará a 4-5 % en África y en Asia del Sur (World Bank, 2010).

Las consecuencias del cambio climático son más severas en las áreas donde es más grave la desnutrición, afectan desproporcionadamente a los pobres y a los grupos en desventaja, que dependen de la agricultura para su subsistencia y tienen menor capacidad de adaptación (World Bank, 2007).

Además de ser afectada por el cambio climático, la agricultura contribuye a su vez al calentamiento global. Se estima que esta actividad es responsable de alrededor del 15 % de las emisiones de gas invernadero, que llega hasta el 26 %, si se consideran también las emisiones debidas a la tala de los bosques en los países en desarrollo, donde la agricultura es la causa más importante de la pérdida de sinnúmero de árboles (World Bank, 2007).

La adaptación al cambio climático y la mitigación de las emisiones de gases invernadero requerirán del desarrollo y la adopción de nuevas prácticas agrícolas, novedosas estrategias de negociación de conflictos sociales y políticos y avanzadas técnicas de manejo de los recursos naturales. En concreto es necesario incrementar la producción agrícola y minimizar la conversión de las selvas y la ampliación de la frontera agrícola.

## Políticas de seguridad alimentaria

La promoción de la agricultura en los países en desarrollo es la clave para alcanzar la seguridad alimentaria. Efectivamente, la agricultura representa, en promedio, alrededor del 30 % del PIB de los países agrícolas y el 50 % del empleo en el mundo en desarrollo. Asimismo, los países en desarrollo, que representan más del 80 % de la población mundial, poseen alrededor de 500 millones de pequeñas explotaciones, con las cuales se sustentan cerca de 2 mil millones de personas (Hazell, 2011). Igualmente, tres de cada cuatro personas pobres viven en zonas rurales y la mayoría depende de la agricultura para su subsistencia diaria.

Las políticas mundiales de seguridad alimentaria consideran cuatro esferas de acción prioritaria: 1) Aumentar las inversiones en la agricultura. 2) Ampliar el acceso a los alimentos. 3) Mejorar la gobernanza del comercio mundial. 4) Aumentar la productividad y conservar los recursos naturales (FAO, 2009).

La causa fundamental del hambre y la malnutrición es la baja inversión en la agricultura de los países en desarrollo. La parte de la asistencia total oficial para el desarrollo destinada a la agricultura, incluidas la silvicultura y la pesca, ha disminuido de 19 % en 1980 a alrededor del 5 % actual. En los países en desarrollo también ha descendido el porcentaje de los gastos totales de los gobiernos destinados a la agricultura. Por ejemplo, durante el periodo 1980-2002, descendió de 14,8 a 8,6 % en Asia; de 8,0 a 2,5 % en América Latina y el Caribe; y de 6,4 a 4,5 % en África (Akroyd & Smith, 2007). Los líderes africanos reunidos en Maputo en 2003 se comprometieron a aumentar la proporción del presupuesto reservado para la agricultura y el desarrollo rural a por lo menos 10 % en cinco años. Para 2008, ocho países lo habían logrado, nueve habían dedicado entre 8 y 10 %, mientras la mayoría de los países africanos solo entre 3 y 6 % (FAO, 2009b). Es decir que se puede hacer mucho más.

Una opción importante para asegurar a todos un acceso justo a los alimentos consiste en crear programas de protección social selectivos, que asignen recursos a las personas pobres y vulnerables. Esta alternativa fue usada satisfactoriamente por Brasil y otros países en desarrollo durante la crisis alimentaria de 2007-2008 (FAO, 2009c), que sirvió para recordar que el sistema mundial de la agricultura y la alimentación, con inclusión del comercio agrícola, es sumamente vulnerable. La volatilidad de los precios constituye una preocupación fundamental para los responsables de las políticas y es necesario tener en cuenta las necesidades de los países de bajos ingresos y dependientes de las importaciones. Por ejemplo, hacen falta nuevos acuerdos para garantizar que los niveles de las reservas mundiales de alimentos sean satisfactorios y que los países pobres, que dependen de las importaciones, accedan a ellas, especialmente en tiempos de carestías extraordinarias (CFS, 2010).

El aumento de la productividad de los pequeños productores, pescadores y silvicultores, mediante una aplicación apropiada de buenas prácticas y de tecnologías mejoradas, debería constituir una prioridad para los países de bajos ingresos que desean alcanzar la seguridad alimentaria. El aumento de la productividad puede mejorar la seguridad alimentaria de dos maneras. En primer lugar, el aumento de la demanda de productos agrícolas en los países de bajos y medianos ingresos brinda la oportunidad para que los pequeños productores de las zonas rurales incrementen sus ingresos y mejoren sus medios de vida. En segundo término, el aumento de la productividad puede contribuir también a bajar los precios y, por tanto, a beneficiar a las personas pobres de las zonas tanto urbanas como rurales (sin tierra), ya que los hogares pobres suelen invertir en alimentos gran parte de sus ingresos.

El aumento de la productividad debe ser logrado conservando al mismo tiempo la base de los recursos naturales de la cual depende que pueda mantenerse y aumentar la productividad en el futuro. De esta forma pueden ir a la par el aumento de sus ingresos y el uso realmente sostenible de los recursos. Todo esto resulta especialmente claro, si se considera que el incremento de la producción sostenible de alimentos para el futuro puede venir solo en parte de una ampliación de las tierras agrícolas y en su mayor parte del aumento de los rendimientos por unidad de tierra. Este problema se hace más difícil por el cambio climático que, previsiblemente, tendrá repercusiones importantes en las modalidades de la producción agrícola y alimentaria, y por el hecho de que la reducción de las inversiones en la agricultura ha inducido a una desaceleración del crecimiento de la productividad.

## La innovación en agricultura

La innovación en agricultura ha permitido a la creciente población del mundo soslayar hambrunas masivas, mediante el incremento de la producción agrícola y, en consecuencia, de la disponibilidad de alimentos, y de la mejora de los ingresos de los productores agrícolas, que conllevan la reducción del hambre y de la pobreza.

Para enfrentar los desafíos globales, el nexo entre el acrecentamiento de la productividad de la agricultura, la conservación de la base de los recursos naturales y la innovación en agricultura parece obvio. Esto se subrayó también en la Cumbre de las Naciones Unidas en Nueva York, celebrada del 20 al 22 de septiembre de 2010, en la que los Jefes de Estado y de Gobierno se comprometieron a acelerar los progresos en la consecución del primer Objetivo de Desarrollo del Milenio mediante una serie de acciones, entre otras:

Aumentando la tasa de crecimiento de la productividad agrícola en los países en desarrollo mediante la promoción del desarrollo y la difusión de tecnología agrícola adecuada, asequible y sostenible, así como la transferencia de esas tecnologías en condiciones convenidas mutuamente, y mediante el apoyo a las investigaciones y la innovación, a los servicios de extensión y a la educación agrícolas en los países en desarrollo. (Naciones Unidas, 2010)

Por tanto, es necesario acrecentar las inversiones en actividades nacionales e internacionales de investigación para el desarrollo agrícola, reforzando los sistemas nacionales de investigación agrícola. El Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias (International Food Policy Research Institute - IFPRI) sostiene que para conseguir un incremento de 0.5 % de la productividad agrícola, las inversiones nacionales e internacionales en investigación para el desarrollo deben ascender desde los actuales USD 5.1 mil millones por año hasta los USD 16.4 mil millones por año, antes de 2025 (CGIAR, 2011).

Las tecnologías tienen que ser apropiadas, accesibles y adaptadas a las necesidades locales de los agricultores pobres. Incluso con los niveles actuales de tecnología, en muchos lugares sigue habiendo muchas diferencias entre los rendimientos potenciales, que se obtienen en las estaciones experimentales aplicando las prácticas agrícolas ya establecidas, y los rendimientos reales obtenidos en las explotaciones agrícolas por los pequeños agricultores. La falta de comunicación de la información y de aptitudes constituye un obstáculo importante para los pequeños productores agrícolas, limita su capacidad de acceso a los beneficios de la investigación, los aleja de utilizar tecnologías mejoradas y reduce la eficacia de las que adoptan.

Para aumentar la productividad, la gama de opciones tecnológicas para los agricultores debe ser lo más amplia posible y abarcar las que se usan para mejorar la ordenación del agua en los sistemas de producción de regadío y de secano; ahorrar mano de obra; reducir las pérdidas posteriores a la cosecha; mejorar la gestión de los recursos naturales, incluida la agricultura de conservación; aumentar la fertilidad del suelo y el manejo integrado de plagas. Se debe preferir un conjunto de técnicas que permitan aumentar la productividad y conservar los recursos naturales.

## La capacidad de innovación en agricultura

El requisito más importante para mejorar el impacto de la investigación agropecuaria sobre la seguridad alimentaria es la capacidad de traducir los conocimientos en innovación agrícola, en especial para los pequeños productores.

Después de décadas de continua merma de las inversiones en investigación agrícola, en servicios de asistencia técnica a los agricultores y en educación agrícola, el potencial de innovación en agricultura de muchos países en desarrollo resulta demasiado débil para enfrentar con éxito los desafíos de la seguridad alimentaria y del cambio climático. Es por lo tanto necesario incrementar las inversiones y desarrollar las capacidades de los países en desarrollo y, al mismo tiempo, forjar sistemas nacionales de innovación en agricultura con un más alto impacto en términos de desarrollo rural sostenible y de reducción del hambre y de la pobreza.

### Desarrollo del concepto de innovación

En los años sesenta la agenda de investigación era definida por el gobierno central, y la determinación de estrategias de desarrollo de nuevas tecnologías agrícolas y su implementación eran responsabilidad primaria de las instituciones públicas de investigación agrícola. Las nuevas tecnologías agrícolas eran después difundidas por los servicios públicos de extensión agrícola, con un proceso de divulgación de tipo linear, mediante la aplicación de un enfoque de arriba hacia abajo. En este esquema linear y unidireccional la(s) institución(es) de investigación agrícola jugaba(n) el papel de desarrolladores de conocimientos, los servicios de extensión eran los intermediarios y los productores agrícolas los recipientes de innovación tecnológica. El sistema demostró ser adecuado para la difusión de nuevas variedades y de prácticas agronómicas asociadas, fundamentalmente durante la revolución verde, pero de forma simultánea reveló ser lento y costoso, porque estaba basado exclusivamente en el esfuerzo del sector público; e ineficiente, porque, faltando



retroalimentación, las tecnologías desarrolladas no siempre eran adecuadas para resolver los problemas reales de los agricultores.

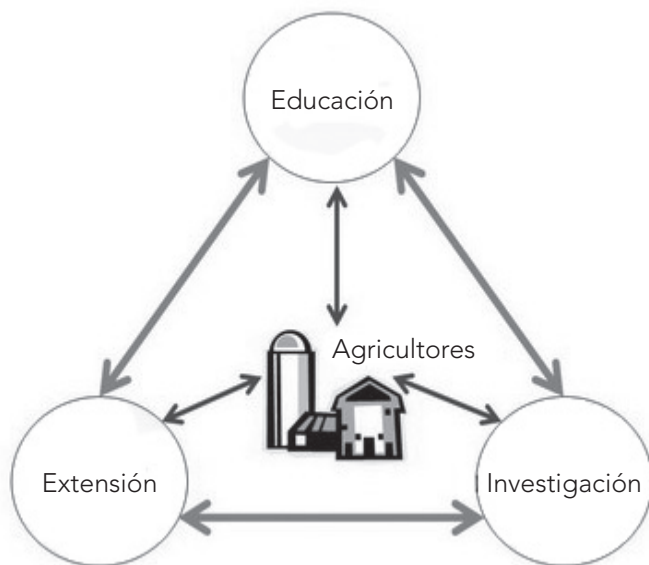
El sistema linear fue entonces sustituido por un concepto más profundo que consideraba los agricultores como el principio y el fin del proceso de innovación agrícola, en cuanto se intentaba empezar por el conocimiento de sus necesidades y terminar ofreciéndoles las soluciones tecnológicas desarrolladas por los centros de investigación agrícola. Entonces, se adoptaba un esquema circular (*farmers to farmers*) que les reconocía un rol más activo a ellos y a otros actores, como el sector privado, las organizaciones no gubernamentales y las universidades. Se hablaba de Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola (SNIA).

En estas décadas la necesidad de reducir el gasto público decretó una disminución drástica de las inversiones en investigación e innovación. En muchos países se privatizaron o se desmantelaron los servicios de extensión agrícola que eran centralizados, burocráticos, ineficientes y costosos, y privaron a los pequeños productores agrícolas de la asistencia técnica.

En 2000, la FAO y el Banco Mundial lanzaron el concepto de sistema de conocimiento y de información agrícola para el desarrollo rural (en inglés Agricultural Knowledge and Information Systems for Rural Development, con el acrónimo AKIS/RD) (FAO & World Bank, 2000). El objetivo del concepto AKIS/RD era relacionar y conectar individuos e instituciones para promover el aprendizaje mutuo y para generar, compartir y utilizar tecnologías, conocimientos e información relacionadas con la agricultura. Era la evolución natural del concepto de los SNIA, porque contemplaba la integración de los tres actores de la generación y diseminación de conocimientos: educación, investigación y extensión. El marco de los AKIS/RD se representaba por medio del “triángulo del conocimiento” (figura 1) para subrayar la importancia de la integración de las contribuciones de estos tres componentes, y en el corazón del triángulo del conocimiento se ponía la población rural, particularmente la de los agricultores, para recalcar que el objetivo central del sistema era *servirles*. En otras palabras, se les veía como socios en los procesos de generación y adopción de conocimientos y no como simples receptores de saberes desarrollados por otras instituciones.

En las últimas décadas nuevos factores modificaron totalmente el escenario de la agricultura global y transformaron radicalmente las necesidades de cambios tecnológicos y organizativos de los productores agrícolas. Entre ellos se pueden mencionar el cambio de enfoque de las explotaciones agrícolas desde la producción (enfoque cuantitativo) hacia el mercado (enfoque cualitativo) y el aumento de la competencia como consecuencia del libre mercado y la globalización.

**Figura 1** - Representación del marco de los AKIS/RD por medio del “triángulo del conocimiento”.



Fuente: FAO (<http://www.fao.org/oek/research-extension-systems/akis/en/>)

Como ya se ha mencionado, el crecimiento del nivel medio de vida en muchos países en desarrollo ha determinado un cambio en la composición de la demanda que va desde productos básicos, como los cereales, hacia otros más ricos como carne, leche y sus derivados, frutas y verduras. Esta tendencia seguirá siendo muy impactante, teniendo en cuenta que se estima que la clase media crecerá en 720 millones de individuos antes de 2030. Asimismo, los conocimientos, la información y las nuevas tecnologías no son producidos solamente por las instituciones públicas de investigación, sino que provienen cada vez más del sector privado, lo que implica nuevos problemas de protección de la propiedad intelectual. Los resultados de la investigación agrícola no son siempre bienes comunes, como durante el periodo anterior, sino que tienen, a veces, acceso limitado por patentes u otros instrumentos legales. De igual forma, la aplicación de los avances de las ciencias de la vida abre nuevas oportunidades inesperadas, mientras la introducción de las nuevas tecnologías de la información y la comunicación produce una revolución en la difusión de conocimientos. Además, en muchos países la expansión de los procesos democráticos y la descentralización crean una nueva demanda de participación en la toma de decisiones de la sociedad civil. En fin, la exigencia de dar más eficacia a las inversiones públicas orienta la investigación agrícola y la extensión a mecanismos enfocados al impacto sobre el desarrollo.

En este contexto surge y se consolida la tendencia a adoptar también en agricultura el concepto de innovación (World Bank, 2007b), no solo como adopción de una nueva tecnología,

sino como una combinación exitosa de tecnologías y prácticas, de nuevos conocimientos y esquemas mentales, y de nuevas instituciones y formas de organización social (Leeuwis, 2004). Las fuerzas motrices de la innovación pertenecen a factores de mercado, ambientales, políticos y regulatorios, así como científicos y tecnológicos, como se resume en la tabla 1.

**Tabla 1** - Fuerzas motrices de la innovación en agricultura

Sectores	Factores que estimulan la innovación en agricultura
Mercado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambios de los patrones de consumo alimentario como resultado del crecimiento de la clase media.</li> <li>2. Posición dominante de las cadenas de distribución de alimentos.</li> <li>3. Comercio internacional y cambios de la demanda global.</li> <li>4. Cambios en la sensibilidad de los consumidores a sostenibilidad, inocuidad de alimentos, etc.</li> <li>5. Precios de los insumos (abonos, plaguicidas, fumigaciones, carburantes) y costo de la mano de obra.</li> </ol>
Ambiente	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cambio climático (precipitaciones, temperatura, presencia e incidencia de plagas, malezas y enfermedades).</li> <li>2. Desastres naturales.</li> <li>3. Disponibilidad de recursos naturales (tierra, agua, biodiversidad).</li> </ol>
Políticas y marco regulatorio	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Reglas, estándares y normativas (por ejemplo, en sanidad animal y vegetal e inocuidad alimentaria).</li> <li>2. Impuestos y tasas.</li> <li>3. Incentivos y subsidios (incluye crédito).</li> </ol>
Ciencia y tecnología	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Avances en los conocimientos básicos de las ciencias de la vida.</li> <li>2. Tecnologías basadas en TIC (sensores, ordenadores, comunicación).</li> <li>3. Conocimiento de oportunidades de mercados, precios.</li> <li>4. Disponibilidad de nuevos insumos (semilla mejorada, biofertilizantes, bioplaguicidas, máquinas agrícolas).</li> <li>5. Disponibilidad de nuevas prácticas agronómicas mejoradas (manejo de plagas y de malezas, riego, cosecha).</li> <li>6. Nuevas tecnologías e infraestructuras de almacenaje y conservación.</li> </ol>

El concepto de innovación en agricultura considera que la innovación no puede ser un proceso liderado por los centros de investigación, basado simplemente en procesos de transferencia

de tecnología, sino que debe ser un proceso de generación, acceso, intercambio y aplicación de conocimientos en el que los diferentes actores aprenden e innovan juntos, ordenan los riesgos y comparten los beneficios. En este marco el cambio tecnológico no siempre proviene de las instituciones de investigación agrícola, sino que puede ser generado por otros actores, portadores de perspectivas y necesidades diferentes. El concepto de innovación en agricultura sustituye el modelo lineal: *investigación – conocimiento – adaptación – uso* por uno interactivo, de intercambio intenso de conocimientos entre reconocimiento de los problemas y búsqueda de soluciones, que propone una evolución del rol de los agricultores que pasan de ser socios a convertirse en protagonistas de los procesos de innovación.

El concepto de innovación deriva de la observación directa de países y sectores económicos que han tenido patrones de rápida evolución tecnológica y se ha usado para explicar su acelerado crecimiento económico. Por tanto, tiene aplicación más analítica que operativa, pero brinda un marco conceptual para el desarrollo de políticas en este sentido, muy efectivo, sobre todo, para identificar los vínculos que faltan en los sectores tradicionales.

## Los sistemas nacionales de innovación en agricultura

Los sistemas de investigación agrícola, de extensión y de educación de los países en desarrollo son llamados a responder adecuadamente a las demandas de desarrollo. En este contexto se hace necesario un cambio paradigmático desde planes de investigación y extensión centrados en las tecnologías, a estrategias enfocadas en los impactos de desarrollo que se quiere conseguir. Es preciso impulsar sistemas de innovación en agricultura inclusivos, en los que los múltiples actores principales participen, aprendan y transformen juntos, buscando soluciones de largo plazo a los problemas prioritarios identificados.

Los sistemas de innovación en agricultura (SIA) (en inglés, *Agricultural Innovation Systems*, AIS) son redes de instituciones, empresas, organizaciones e individuos que solicitan y ofrecen conocimientos y tecnologías, y se orientan a la utilización de nuevos productos, procesos y formas de organización y a las reglas y los mecanismos por medio de los cuales ellos interactúan (World Bank, 2000). Los SIA integran generación, difusión y gestión de conocimientos; son sistemas dinámicos en evolución continua. Su característica más sobresaliente es que incluyen una multitud de actores, no solo del sector público, que tiene el rol clave de desarrollar el marco político, infraestructural y regulatorio favorable a la innovación y de promover la interacción entre los diferentes actores, sino también del sector privado y de la sociedad civil (Tabla 2). La investigación cumple un rol importante, aunque no siempre central.

**Tabla 2** – Participantes en los sistemas de innovación en agricultura

Sectores	Actores de la innovación en agricultura
Sector productivo	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Asociaciones de productores.</li> <li>2. Cooperativas.</li> </ol>
Sector privado	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Proveedores de insumos, servicios, asistencia técnica, etc.</li> <li>2. Agronegocios (intermediación y distribución de productos agrícolas).</li> <li>3. Organizaciones financieras (bancos, cooperativas de crédito).</li> <li>4. Industrias de procesamiento de alimentos.</li> <li>5. Centros de acopio.</li> </ol>
Sector público	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Universidades estatales.</li> <li>2. Institutos de investigación.</li> <li>3. Servicios de extensión agrícola.</li> <li>4. Ministerios y gobiernos locales.</li> <li>5. Agencias de certificación de calidad (semillas, productos).</li> <li>6. Servicios de sanidad animal y vegetal y de inocuidad de alimentos.</li> </ol>
Sociedad civil	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Organizaciones no gubernamentales (ONG).</li> </ol>
Organismos internacionales	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Centros internacionales de investigación</li> <li>2. Agencias internacionales de desarrollo</li> </ol>
Medios de comunicación	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Radios rurales.</li> <li>2. Otros medios.</li> </ol>

Los programas de desarrollo de capacidades de innovación en agricultura no deben limitarse al fortalecimiento de sus componentes individuales, que no son necesariamente los puntos más débiles, sino que deben adoptar un enfoque sistemático y participativo dirigido al reforzamiento de las instituciones y de las redes de vínculos funcionales entre los actores principales, para desarrollar sistemas de innovación efectivos, eficientes, inclusivos e integrados, que respondan a las necesidades de los pequeños productores agrícolas. En este sentido, no existen sistemas universales de innovación en agricultura que se puedan aplicar, sino que deben adaptarse a las condiciones y a los requerimientos locales.

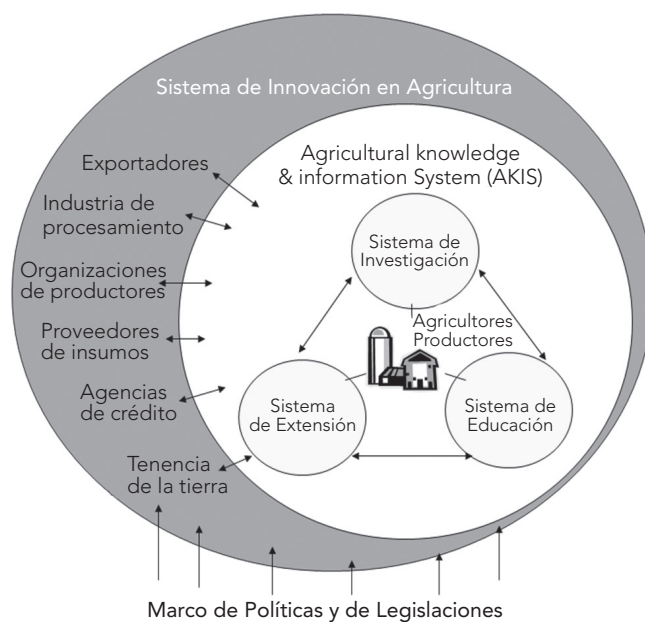
Otra cuestión importante es la participación en el desarrollo de las políticas y estrategias de innovación en agricultura, puesto que los beneficiarios potenciales de la investigación, del desarrollo y de los servicios de asistencia técnica, deben tener voz e influir en el establecimiento de las prioridades, para que respondan a sus necesidades y escojan las soluciones apropiadas a sus requerimientos.

De igual forma, deben demostrar su importancia, para conseguir el reconocimiento de la sociedad y el apoyo sostenido de los gobiernos, comunicar efectiva y transparentemente los resultados logrados, así como los impactos de desarrollo conseguidos.

La disponibilidad de recursos adecuados a los objetivos de desarrollo es un elemento clave, pero los cambios paradigmáticos necesarios para convertir los sistemas de investigación agrícola, de extensión y de educación en sistemas inclusivos de innovación en agricultura abarcan también la reorientación de las instituciones interesadas; el mejoramiento de la comunicación y la coordinación entre las entidades involucradas y entre ellas y los agricultores y sus asociaciones; la adopción de enfoques holísticos y multisectoriales y de políticas apropiadas y la creación de actitudes y capacidades renovadas de los actores implicados en los procesos de innovación. Las nuevas capacidades que deben alcanzarse comprenden la comunicación, la negociación social y la gestión de conflictos; la facilitación, el establecimiento de colaboraciones y redes y las metodologías participativas. Los cambios en gestión, institucionales y culturales deben representar el eje principal de los programas de desarrollo de las capacidades de los sistemas nacionales de innovación en agricultura. Los procesos interactivos de aprendizaje continuo que se pueden promover ofrecen métodos novedosos y oportunidades inexploradas para desarrollar nuevos arreglos organizativos y sociales específicos para cada contexto local.

La figura 2 presenta una esquematización de los sistemas nacionales de innovación en agricultura (Birner et ál, 2006).

**Figura 2** – Sistema Nacional de Innovación en Agricultura (SIA)



## La biotecnología como integrante esencial de la innovación en agricultura

El abanico de las opciones tecnológicas accesibles a los pequeños productores agrícolas para aumentar la productividad y conservar los recursos naturales, debería abarcar también las biotecnologías agropecuarias, que se basan en los recientes avances de las ciencias de la vida y ofrecen oportunidades de progreso significativas.

El tema de la biotecnología suele suscitar fuertes reacciones emotivas y controversias. De ahí que sea importante aclarar lo que se entiende por biotecnología. La definición amplia basada en el Artículo 2 del Convenio sobre la Diversidad Biológica, afirma que por biotecnología “se entiende toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos”.

La expresión “biotecnología agropecuaria” (o biotecnologías agropecuarias) comprende una amplia gama de tecnologías que se utilizan en la alimentación y en la agricultura. Se usan para diferentes finalidades, como el mejoramiento de variedades vegetales y de poblaciones de animales para aumentar sus rendimientos o eficacia; el diagnóstico de enfermedades de plantas o animales y la preparación de vacunas. También se emplean en beneficio de la biodiversidad agrícola, tema de importancia estratégica para la sostenibilidad de este tipo de actividades.

Como lo hizo notar el Profesor M.S. Swaminathan, la biodiversidad es la materia prima para la seguridad alimentaria y sanitaria sostenible y puede desempeñar un papel semejante en el desarrollo de sistemas de agricultura y subsistencia resistentes al clima, pero se está perdiendo rápidamente. Las biotecnologías agropecuarias, como el uso de marcadores moleculares, la criopreservación y las tecnologías reproductivas pueden jugar un papel importante en la caracterización y conservación de los recursos genéticos agrícolas, ganaderos, forestales y pesqueros, y actualmente se están adoptando en los países en desarrollo.

La encendida controversia acerca del tema de la biotecnología agropecuaria se refiere a una sola biotecnología, la modificación genética y sus productos derivados, los organismos genéticamente modificados (OGM). En efecto, el término biotecnología suele usarse impropia-mente como sinónimo de modificación genética (de ahí la necesidad de definir antes su significado). El debate acerca de las ventajas y desventajas, reales o percibidas, de los OGM comenzó hace más de un decenio y todavía persiste, sin que aparezcan señales perceptibles de apaciguamiento. Las posiciones de las diferentes partes han quedado a menudo prisioneras de lo que se ha llegado a llamar una ‘guerra mundial de retórica’ (Stone, 2002).

En el pasado, y todavía hoy, se ha hecho demasiado hincapié en los OGM, y muy poco en los méritos y beneficios potenciales de tantas otras biotecnologías disponibles y en la función positiva que estas pueden desempeñar para la seguridad alimentaria y la sostenibilidad de los países en desarrollo. El debate polarizado (FAO, 2003) ha eclipsado las biotecnologías no relacionadas con los OGM y ha impedido, a menudo, su aplicación.

Hay muchas biotecnologías no relacionadas con los OGM, muy diversas entre sí. Algunas pueden aplicarse a todos los sectores de la alimentación y la agricultura, como el uso de marcadores moleculares, mientras otras son más sectoriales, como el cultivo de tejidos (en los cultivos y los árboles forestales), la transferencia de embriones (ganado) o la inversión de sexo (peces). También pueden clasificarse en diferentes grupos, según se consideren como tecnología de 'nivel bajo' (los biofertilizantes, los bioplaguicidas y el cultivo de tejidos en cultivos y árboles; la inseminación artificial en la ganadería; la fermentación y el uso de biorreactores en la elaboración de alimentos), o tecnologías de nivel medio o alto (el uso de instrumentos de diagnóstico de enfermedades a base de la reacción en cadena de polimerasa (RCP); la selección asistida por marcadores; la genómica; o la fertilización in vitro en la ganadería). Una característica importante que tienen en común es que, comparadas con los OGM, estas biotecnologías y los eventuales productos derivados no suelen requerir aprobación reglamentaria, lo que significa que pueden ser adoptadas rápidamente por los agricultores y a bajo costo.

## Biotechnologías agropecuarias en uso para incrementar la seguridad alimentaria

Los participantes en la Conferencia Técnica Internacional sobre Biotecnologías Agropecuarias en los Países en Desarrollo (ABDC-10), organizada por la FAO en Guadalajara, México, en marzo de 2010, reconocieron que las biotecnologías agropecuarias pueden ayudar a reducir el hambre y la pobreza, contribuir a la adaptación al cambio climático y mantener la base de recursos naturales. Sin embargo, sus diversas aplicaciones no se han utilizado ampliamente en muchos países en desarrollo y no han beneficiado suficientemente a los pequeños agricultores y productores, ni a los consumidores.

La asimilación de las biotecnologías en los países en desarrollo sigue siendo fragmentaria, aunque sí está mejorando gradualmente. En el sector privado de los países industrializados se han producido muchos avances biotecnológicos, lo que ha dado lugar a tecnologías patentadas frecuentemente no disponibles para los científicos. Los agricultores de los países en desarrollo cultivan productos y hacen frente a problemas que dependen de sus condiciones culturales y



ambientales, y a menudo cuentan con un poder adquisitivo limitado para acceder a las tecnologías patentadas. De hecho, los resultados de las investigaciones obtenidos por el sector privado en los países industrializados han tenido repercusiones limitadas en los medios de vida de los agricultores de subsistencia de los países en desarrollo. En efecto, los resultados satisfactorios más duraderos hasta la fecha han emergido de programas autóctonos de investigación agrícola del sector público que han abordado problemas prioritarios para sus agricultores.

Aunque en el sector público de los países en desarrollo ha habido un fuerte desarrollo de las biotecnologías, estas no siempre se han orientado a mejorar los medios de subsistencia de los pequeños propietarios. Justamente, sobre la asignación de recursos para la puesta en marcha de biotecnologías agrícolas apropiadas, rara vez se adoptó un proceso decisorio inclusivo, que comprometió los resultados de las iniciativas. En algunos casos, incluso tratándose de tecnologías y de productos potencialmente beneficiosos para los agricultores, la adopción de tales tecnologías fue limitada o nula debido a deficiencias previsibles en materia de asistencia técnica, de infraestructura o de mercado.

Los programas biotecnológicos han sido eficaces, en situaciones donde se complementaban programas de actividades convencionales de investigación, con desarrollo en agricultura, bien estructurados. Todo esto se debe a la elaboración de políticas apropiadas, al refuerzo de las instituciones de investigación y extensión y a la vinculación entre investigación, extensión y otros actores. También ha sido importante el establecimiento de medidas normativas intersectoriales adecuadas. Es decir, que los programas biotecnológicos han sido eficientes donde había sistemas eficaces de innovación en agricultura.

Al igual que con otras tecnologías, las experiencias con las biotecnologías agrícolas han sido variadas en los países en desarrollo. Esta sección presenta un breve panorama de algunas biotecnologías agropecuarias que se están usando para incrementar la productividad y conservar los recursos naturales en los sectores agrícola, ganadero, pesquero, forestal y agroindustrial.

## Biotechnologías aplicadas al sector de los cultivos

En los cultivos, las biotecnologías se fueron desarrollando progresivamente durante el siglo pasado, y los avances se han acelerado en los dos últimos decenios, con muchos e importantes logros científicos e impresionantes adelantos tecnológicos. La ingeniería genética ha tenido un éxito limitado, pero real, en la modificación de algunos caracteres simples en un número pequeño de cultivos básicos comerciales, y se ha adoptado también en algunos países en desarrollo. Sin embargo, hasta ahora, las aplicaciones principales en materia de mejoramiento y gestión de cultivos vienen de las biotecnologías no relacionadas con los OGM, que comprenden toda la gama de

caracteres y prácticas agronómicas pertinentes a los agricultores de estos países (FAO, 2011b). Por ejemplo, la mutagénesis se utiliza ampliamente, y en todo el mundo se han obtenido en los últimos sesenta años más de 2.700 variedades de cultivos derivados de la mutación. La hibridación interespecífica permite la combinación de caracteres favorables de diferentes especies y se ha aplicado satisfactoriamente, por ejemplo, en el desarrollo de variedades del nuevo arroz para África (Nerica), producto del cruce entre el arroz asiático de alto rendimiento y el africano que crece adecuadamente en ambientes poco favorables, utilizando técnicas de rescate de embriones y androgénesis. Las variedades de Nerica se han cultivado en más de 200.000 hectáreas en África, y algunos estudios de evaluación han documentado sus efectos positivos en los medios de subsistencia de poblaciones como la de Benin, Guinea y Malí. Ahora bien, los programas de hibridación interespecífica pueden ser lentos y necesitar una gran dosis de conocimientos científicos y mano de obra calificada.

En muchos países en desarrollo la selección asistida por marcadores (SAM) todavía está en una fase relativamente temprana de aplicación en los principales cultivos de subsistencia, aunque ha empezado a producir algunos resultados importantes, como el desarrollo de un mijo perla híbrido resistente al moho, en la India. Pero la selección asistida por marcadores moleculares es costosa y requiere sofisticación técnica, lo cual conlleva problemas enormes para los países en desarrollo.

Muchos países en desarrollo ejecutan programas de micropropagación de cultivos (utilizados para la propagación clonal en gran escala de líneas élite o material de plantación libre de enfermedad), y los están empleando en una amplia gama de cultivos de subsistencia. Pocas veces se evalúan las repercusiones socioeconómicas de las biotecnologías, pero pueden ser considerables, como lo demuestra el estudio del camote micropropagado en el distrito de Hwedza (Zimbabue), donde la tecnología fue adoptada por el 97 % de los agricultores, tanto los más pobres como los más ricos, y contribuyó a la seguridad alimentaria de los hogares (FAO, 2009d).

La biotecnología ofrece también importantes herramientas para el diagnóstico de enfermedades vegetales de origen viral y bacterial y en muchos países en desarrollo se aplican comercialmente con tal finalidad técnicas inmunodiagnósticas, así como métodos basados en el ADN. En estos países se utilizan biofertilizantes para mejorar el estado nutricional de los cultivos y para reemplazar los suplementos químicos. Además, los marcadores moleculares, la criopreservación y la conservación in vitro en condiciones de crecimiento lento se usan largamente para la caracterización y conservación de los recursos fitogenéticos (FAO, 2011c).

Los programas biotecnológicos demostraron eficacia allí donde complementaban o serían de apoyo a proyectos convencionales bien estructurados de actividades de investigación y desarrollo en los ámbitos de la fitogenética y de la agronomía, y donde los sistemas de innovación

en agricultura bien estructurados facilitaron a los pequeños productores agrícolas la adopción de sus resultados.

## Biotecnologías aplicadas al sector ganadero

El ganado contribuye directamente a los medios de vida de las personas de todo el mundo, al proporcionar alimentos y otros productos, fuerza de tiro y seguridad financiera. La producción ganadera representa el 40 % del valor mundial de la producción agrícola (FAO, 2009e) y se prevé que esta cifra seguirá aumentando. El rápido crecimiento de la demanda de productos pecuarios, conocido como la “revolución ganadera”, ha creado oportunidades para asegurar el bienestar de, al menos, parte de las casi mil millones de personas pobres cuyos medios de vida dependen de la ganadería. Sin embargo, la degradación de las tierras, la contaminación ambiental, el calentamiento global, la erosión de los recursos zoológicos, la escasez de agua y las nuevas enfermedades presentarán previsiblemente obstáculos al crecimiento del sector pecuario mundial.

Las tecnologías convencionales y las biotecnologías ganaderas han contribuido enormemente al aumento de la productividad, particularmente en los países desarrollados, y pueden ayudar a mitigar la pobreza y aliviar el hambre, reducir las amenazas que presentan las enfermedades y conseguir la sostenibilidad ambiental en los países en desarrollo, donde ya se ha usado un amplio abanico de biotecnologías.

Con respecto a la reproducción animal, la inseminación artificial (IA) ha sido quizás la biotecnología ganadera más utilizada, particularmente en combinación con la criopreservación, lo cual ha permitido un mejoramiento genético significativo centrado en la productividad, así como la difusión mundial de herencia genética masculina seleccionada. En la mayoría de los países en desarrollo se aplica en alguna medida. Se utiliza principalmente en relación con el ganado lechero, y en las zonas periurbanas donde existen servicios complementarios como los de comercialización de leche. El elevado costo del nitrógeno líquido necesario para la criopreservación del semen limita a menudo el uso de la IA en lugares alejados de las ciudades. Un estudio de casos relativo a la producción de ganado bovino en Brasil (FAO, 2011b) es una demostración de que la inseminación artificial y la transferencia de embriones pueden generar impactos positivos sobre el desarrollo de las áreas rurales.

La carencia de un sistema para la identificación de animales superiores (junto con la falta de capacidad técnica) restringe el uso de tecnologías más avanzadas, como el trasplante de embriones o la selección asistida por marcadores. Las biotecnologías moleculares en el área de la reproducción animal, la genética y el mejoramiento se han circunscrito, por lo general, a estudios de caracterización genética, normalmente por medio de la cooperación internacional.

Las biotecnologías de nutrición se basan frecuentemente en el uso de microorganismos, incluidos los producidos por medio de la modificación genética. Se emplean tecnologías de fermentación para producir nutrientes (como determinados aminoácidos esenciales o proteínas completas), o para mejorar la digestibilidad de los piensos. Aunque hay poca información, los aminoácidos y las enzimas parecen ser los productos biotecnológicos relacionados con la alimentación más corrientes e importantes empleados en los países en desarrollo. India y China han creado industrias nacionales para producirlos. Varios factores han limitado el uso de otras muchas biotecnologías. Por ejemplo, no es común la producción de ensilado, lo que limita el uso de cultivos microbianos.

En relación con la sanidad animal, en los países en desarrollo se utilizan ampliamente los métodos serológicos moleculares. Cada vez se usan más las técnicas de diagnóstico basadas en la Reacción en Cadena de la Polimerasa para permitir el diagnóstico precoz de las enfermedades, pero su uso está limitado básicamente a los laboratorios de las instituciones de investigación y a los laboratorios de diagnóstico públicos más grandes. Por otra parte, la vacunación se ha utilizado como medida eficaz en función de los costos, para controlar enfermedades infecciosas, como en el caso de la peste bovina, una afección viral infecciosa del ganado, el búfalo, el yak y numerosas especies silvestres que ha causado efectos devastadores a lo largo de la historia. Por ejemplo, en la década de 1890, la peste bovina destruyó cerca del 90 % de todo el ganado en el África subsahariana y millones de animales silvestres. Los progresos logrados en vista de la erradicación, mediante campañas de vacunación y vigilancia en gran escala, han sido un triunfo notable para la ciencia veterinaria. El último brote conocido se registró en Kenia en 2001, y la enfermedad se declaró oficialmente erradicada (FAO, 2011d). Esta es la segunda vez que una enfermedad se ha erradicado globalmente, después de la viruela humana.

## Biotechnologías aplicadas a los sectores acuícola y pesquero

En 2007, más de 113 millones de toneladas de pescado destinado al consumo humano provinieron de la acuicultura y la pesca de captura, lo que representa una estimación de 17 kilogramos per cápita. La acuicultura aportó cerca de la mitad (44 %) de este total, y es el sector de producción de alimentos que crece más rápidamente en todo el mundo (FAO, 2011b). Se prevé que en un futuro cercano, la acuicultura produzca más pescado para el consumo humano directo que la pesca de captura.

La acuicultura comenzó primordialmente como un sistema asiático de producción de alimentos de agua dulce, y ahora se ha extendido a todos los continentes, abarcando todos los entornos acuáticos y utilizando una gama de especies acuáticas. Inicialmente era una actividad

realizada principalmente en pequeña escala, sin fines comerciales y basada en las familias; ahora comprende la producción comercial o industrial en gran escala de especies de gran valor que se comercializan nacional, regional e internacionalmente.

Comparada con la producción agropecuaria, la acuicultura es un nuevo sistema de producción empleado en muchos países del mundo, en el que para aumentar la producción se han usado menos las tecnologías convencionales, como los programas tradicionales de selección genética y biotecnologías, que en el sector agropecuario, para aumentar la producción. No obstante, en los sistemas acuícolas en los países en desarrollo se han empleado algunas biotecnologías, entre ellas la manipulación sexual, mediante tratamiento hormonal para generar poblaciones de un solo sexo, por ejemplo en la tilapia. El tratamiento hormonal también se ha utilizado con resultados satisfactorios para controlar el tiempo de reproducción de los peces y mariscos, en el cultivo del salmón y de trucha en Chile.

Asimismo se ha llevado a cabo una amplia investigación sobre otras biotecnologías pertinentes al mejoramiento genético y la reproducción, como la inducción de triploidía para crear poblaciones estériles; el uso de la androgénesis y la ginogénesis para producir individuos con material genético de un solo progenitor; y el uso de marcadores moleculares para el análisis parental y la selección genética. Pero hasta ahora han tenido poca aplicación práctica en los países en desarrollo.

Los brotes de enfermedades constituyen una grave limitación para el desarrollo de la acuicultura. Hace falta una mejor gestión de los sistemas intensivos, para lo cual las biotecnologías están prestando asistencia. Los métodos de diagnóstico basados en inmunoensayos y el ADN se aplican actualmente en los países en desarrollo para el diagnóstico de patógenos (por ejemplo, en la producción del camarón). También se usan vacunas contra las enfermedades que causan la mortalidad de peces y mariscos cultivados. Como los procedimientos para la producción de vacunas moleculares dependen sobremanera de las herramientas biotecnológicas, las vacunas se producen en los países desarrollados.

La reducción de los efectos ambientales es un cometido importante. A menudo se acusa a la acuicultura de ser insostenible y no inocua para el medio ambiente. Reducir los efectos de la eliminación de desechos, mejorar la calidad y hacer un uso responsable del agua son aspectos que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la acuicultura. Para el caso se están utilizando algunas biotecnologías como la biorremediación para la degradación de desechos peligrosos, y las metodologías basadas en el ADN para la detección temprana de algas tóxicas.

En la pesca de captura, la ordenación y conservación sostenibles de las pesquerías es una prioridad, de ahí que sea de fundamental importancia una mejor comprensión de la estructura

de la población pesquera. La utilización de marcadores moleculares y los principios de la genética de las poblaciones han resultado muy eficaces para evaluar los niveles efectivos de la variabilidad genética de una población y medir el alcance de la diferenciación entre las poblaciones. Dentro de las formas especiales como se han aplicado los datos de los marcadores moleculares para tomar decisiones en materia de conservación de las poblaciones pesqueras figuran la caracterización de la estructura genética de las poblaciones; la detección de los cambios/descensos en el tamaño de la población; y la estimación del tamaño efectivo de la población (un indicador clave para determinar el grado de peligrosidad que existe para una población).

## Bioteecnologías aplicadas al sector de los bosques

Los bosques y otras zonas madereras desempeñan funciones económicas y ecológicas fundamentales. No solo proporcionan bienes y medios de subsistencia, sino que protegen los suelos, regulan las aguas y absorben carbono. Además, albergan una gran parte de la biodiversidad del mundo. La Tierra tiene poco menos de 4 mil millones de hectáreas de bosques, que cubren el 31 % de la superficie mundial (FAO, 2011f). El 30 % de ellos se usa básicamente para la producción de madera y de productos no madereros. Solo el 7 % está en plantaciones, y el resto se encuentra en rodales forestales naturales o seminaturales silvestres, en gran medida no explotados. Los bosques plantados están aumentando, y su contribución a la producción mundial de madera industrial se está acercando al 50 % del total. Cerca de 1.600 millones de personas dependen de los recursos forestales para sus medios de subsistencia y la mayor parte (1.200 millones) planta árboles en las explotaciones para generar alimentos e ingresos.

Para la explotación de bosques regenerados naturalmente existen marcadores basados en el ADN y bioquímicos para un número creciente de especies tropicales (FAO, 2001h). Hoy se cuenta con resultados de investigaciones que sirven para orientar planes de explotación forestal, incluso en los países en desarrollo, pero solo para un número muy limitado de los cientos de especies arbóreas que están en bosques tropicales regenerados naturalmente. Este sector de la biotecnología forestal continúa en expansión.

Aunque existe alguna superposición en los bosques plantados, por lo general la gama de las biotecnologías utilizadas es muy diferente de la que se usa para los bosques regenerados naturalmente. Las plantaciones pueden tener diferentes tipos de sistemas de explotación (intensivo y semiintensivo) y usar diferentes tipos de material genético (material silvestre y árboles mejorados genéticamente). Según sea el nivel de intensidad de la explotación y el material genético

usado en el bosque plantado, se están utilizando diferentes grupos de biotecnologías, a saber, cultivos de tejidos para la micropropagación, biofertilizantes, huella genética, secuenciación genómica total y modificación genética.

## Biotecnologías aplicadas al sector de la agroindustria

Las agroindustrias constituyen un medio para convertir materias primas agrícolas en productos de valor agregado, generan ingresos y oportunidades de empleo y contribuyen al desarrollo económico global. La elaboración de alimentos transforma las materias primas relativamente voluminosas, perecederas y normalmente no comestibles en alimentos más útiles, de fácil conservación y apetecibles o en bebidas potables (Castillo, 2010). Este proceso contribuye a la seguridad alimentaria y reduce al mínimo los desechos y las pérdidas en la cadena alimentaria. Igualmente, aumenta la disponibilidad y posibilidad de comercialización de los alimentos y mejora su calidad e inocuidad.

La biotecnología aplicada a la elaboración de alimentos utiliza la fermentación y los inculantes microbianos para mejorar sus propiedades como el gusto, el aroma, el tiempo de conservación, la textura y el valor nutricional (FAO, 2011). Para optimizar la calidad de los cultivos microbianos pueden aplicarse los métodos tradicionales de mejora genética, como la mutagénesis y la conjugación clásicas. También se usa la hibridación para el mejoramiento de las cepas de levadura. La modificación genética se usa en la investigación y el desarrollo para mejorar las cepas. Mientras en los países desarrollados estas técnicas son comunes, en los países en desarrollo están empezando a aplicarse para el mejoramiento y el desarrollo de cultivos iniciadores.

La biotecnología se utiliza como herramienta de diagnóstico para supervisar la inocuidad, prevenir y diagnosticar enfermedades de origen alimentario y verificar el origen de los alimentos. El desarrollo biotecnológico ha generalizado la disponibilidad de métodos de identificación más rápidos y menos costosos que los basados en técnicas convencionales. Actualmente se aplican los métodos de diagnóstico basados en la Reacción en Cadena de la Polimerasa y en los ensayos de inmunoabsorción enzimática para detectar los principales patógenos de origen alimentario.

## Consideraciones finales

Para hacer frente a los desafíos de alcanzar la seguridad alimentaria y limitar las consecuencias negativas del crecimiento demográfico y del cambio climático, los países en desarrollo y la

comunidad internacional tienen que actuar en varios frentes. Uno es aumentar la productividad agrícola y conservar la base de los recursos naturales, mediante el uso de los instrumentos que proveen la ciencia y la tecnología, incluidas las biotecnologías agropecuarias. Es preciso recalcar una vez más que las biotecnologías agropecuarias son un conjunto de tecnologías, parte de un repertorio más amplio de tecnologías agropecuarias, y que la innovación tecnológica es un componente de las estrategias de desarrollo de las áreas rurales que incluyen también medidas políticas, sociales, económicas, culturales y financieras.

Los gobiernos de los países en desarrollo tienen la responsabilidad de elaborar su propia visión y política nacional de innovación en agricultura, incluyendo las biotecnologías. Para que ciencia y tecnología puedan jugar su papel en las políticas y en los programas de seguridad alimentaria, ante todo se requieren adecuadas inversiones — considerablemente mayores que las actuales— y constantes en el tiempo. La innovación tecnológica y social no tiene la propiedad inherente de beneficiar a los necesitados, el sector público tiene la responsabilidad de dirigir las inversiones hacia objetivos bien definidos y de enfocar la investigación agrícola a las necesidades de los pequeños agricultores y productores. Además, las inversiones deben estar acompañadas de políticas y marcos normativos nacionales eficaces y favorables a la innovación en agricultura.

Otro aspecto de gran importancia es asegurar a las mujeres el acceso a las nuevas tecnologías y al conocimiento (FAO, 2010). Si se les favorece el acceso a la tierra, la ganadería, la educación, los servicios financieros, la extensión, la tecnología y el empleo rural aumentarían la productividad así como la producción agrícola, la seguridad alimentaria, el crecimiento económico y el bienestar social. Se calcula que, por sí solo, el cierre de la brecha de género en el ámbito de los insumos agrícolas podría sacar del hambre a entre 100 y 150 millones de personas (FAO, 2011g).

Las asociaciones entre países en desarrollo (cooperación Sur-Sur), y entre países desarrollados y países en desarrollo (cooperación Norte-Sur) están asumiendo un papel cada vez más importante en la generación y la adopción de conocimientos científicos y tecnológicos, permitiendo el intercambio de experiencias de reforzamiento de capacidades, de orientación al desarrollo y de mejoramiento de la eficiencia de los sistemas nacionales de innovación en agricultura.

Por último, la FAO colabora en esta esfera con una serie de asociados para el desarrollo de las capacidades de los Estados Miembros mediante la cooperación técnica y la capacitación; pero tanto esta, como otras organizaciones internacionales pertinentes, así como los donantes deberían aumentar significativamente sus esfuerzos para apoyar el fortalecimiento de la capacidad de los sistemas nacionales de innovación en agricultura.



## Referencias

- Akroyd, S., & Smith, L. (2007). *Review of public spending to agriculture*. A joint DFID/World Bank study. Recuperado de <http://www1.worldbank.org/publicsector/pe/pfma07/OPMReview.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- Birner, R., Davis, K., Pender, J., Nkonya, E., Anandajayasekeram, P., Ekboir, ... Cohen, M. J. (2006). Modificado. "From 'best practice' to 'best fit': a framework for designing and analyzing pluralistic agricultural advisory services worldwide". EPTD discussion paper 05, Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI).
- Castillo, B. (2010). *Fermentative processes using endogenous microorganisms in the Dominican Republic*. Presentation at ABDC-10. Recuperado de <http://www.fao.org/fileadmin/templates/abdc/documents/mabi.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- CFS. (2010). Informe del 36º periodo de sesiones del Comité de Seguridad Alimentaria Mundial, Roma, 11-14 y 16 de octubre de 2010.
- CGIAR. (2011). *A strategy and results framework for the CGIAR*. Recuperado de [http://www.cgiarfund.org/cgiarfund/sites/cgiarfund.org/files/Documents/PDF/srf\\_feb20\\_2011.pdf](http://www.cgiarfund.org/cgiarfund/sites/cgiarfund.org/files/Documents/PDF/srf_feb20_2011.pdf), consultado en noviembre de 2011.
- FAO & World Bank. (2000). *Agricultural Knowledge and Information Systems for Rural Development (AKIS/RD): Strategic Vision and Guiding Principles*. FAO, Roma, Italia. Recuperado de <http://www.fao.org/sd/EXdirect/EXre0027.htm>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2003). *Biotecnología agrícola para países en desarrollo: resultados de un foro electrónico*. Estudios FAO: Investigación y tecnología 8. Recuperado de <http://www.fao.org/DOCREP/004/Y2729S/Y2729S00.htm>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2006). *Food Security. Policy Brief*. Issue 2. Recuperado de [ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policy-briefs/pb\\_02.pdf](ftp://ftp.fao.org/es/ESA/policy-briefs/pb_02.pdf), consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2008). *Oportunidades y desafíos de la producción de biocombustibles para la seguridad alimentaria y del medio ambiente en América Latina y el Caribe*. 30ª Conferencia Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Brasilia, Brasil, 14-18 de abril de 2008. Recuperado

- de [www.fao.org/Unfao/Bodies/RegConferences/Larc30/index\\_es.htm](http://www.fao.org/Unfao/Bodies/RegConferences/Larc30/index_es.htm), consultado en noviembre de 2011.
- FAO, IAEA. (2008). *Atoms for food: A global partnership. Contributions to Global Food Security by the Joint Division of the Food and Agriculture Organization and the International Atomic Energy Agency*. Recuperado de <http://www.iaea.or.at/Publications/Booklets/Fao/fao1008.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2009). *Alimentar al mundo, erradicar el hambre*. Background paper to the World Summit on Food Security, Rome, 16-18 noviembre de 2009. Recuperado de <http://www.fao.org/wsfs/wsfs-list-documents/es/>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2009b). *Rapid assessment of aid flows for agricultural development in Sub-Saharan Africa*. Investment Centre Division Discussion Paper. Recuperado de <http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/SSAAid09.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2009c). *Conseguir la seguridad alimentaria en época de crisis*. Brochure for 16 October 2009, World Food Day. Recuperado de [http://www.fao.org/fileadmin/templates/getinvolved/pdf/WFD\\_2009\\_leaflet-es\\_web.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/getinvolved/pdf/WFD_2009_leaflet-es_web.pdf), consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2009d). *Socio-economic impacts of non-transgenic biotechnologies in developing countries: The case of plant micropropagation in Africa*. By A. Sonnino, Z. Dhlamini, F.M. Santucci & P. Warren (Eds.) Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/011/i0340e/i0340e00.htm> consultado en Noviembre 2011.
- FAO. (2009e). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación: La ganadería, a examen*. Recuperado de <http://www.fao.org/publications/sofa-2009/es/>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2010). *Cómo movilizar el potencial de la extensión agraria y rural*. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/013/i1444s/i1444s00.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO & PMA. (2010). *El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo*. Roma, Italia. Recuperado de [www.fao.org/docrep/013/i1683s/i1683s.pdf](http://www.fao.org/docrep/013/i1683s/i1683s.pdf), consultado en noviembre de 2011.
- FAO (2011). *Situación y tendencias de las biotecnologías aplicadas a la conservación y la utilización de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura y cuestiones pertinentes para su desarrollo futuro*. Document CGRFA-13/11/3 for the 13th Regular Session of the FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, 18-22 July 2011, Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/meeting/022/mb081s.pdf>, consultado en noviembre de 2011.
- FAO. (2011b). *Biotechnologies for Agricultural Development: Proceedings of the FAO international technical conference on "Agricultural biotechnologies in developing countries: Options and*

*opportunities in crops, forestry, livestock, fisheries and agro-industry to face the challenges of food insecurity and climate change*" (ABDC-10). FAO, Rome. Recuperado de <http://www.fao.org/nr/cgrfa/cgrfa-meetings/cgrfa-comm/thirteenth-reg/>, consultado en noviembre de 2011.

FAO. (2011c). *Situación y tendencias de las biotecnologías aplicadas a la conservación y la utilización de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura y cuestiones pertinentes para su desarrollo futuro*. Document CGRFA-13/11/3 for the 13th Regular Session of the FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture, 18-22 July 2011, Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/meeting/022/mb081s.pdf>, consultado en noviembre de 2011.

FAO. (2001d). *Declaration on global freedom from rinderpest*. Document C 2011/15 for the 37th Session of the FAO Conference, 25 June - 2 July 2011, Rome, Italy. Recuperado de <http://www.fao.org/bodies/conf/c2011/es/>, consultado en junio de 2011.

FAO. (2011f). *La evaluación de los recursos forestales mundiales 2010*. Recuperado de <http://www.fao.org/forestry/fra/fra2010/es/>, consultado en noviembre de 2011.

FAO. (2011g). *El estado mundial de la agricultura y la alimentación. Las mujeres en la agricultura: cerrar la brecha de género en aras del desarrollo*. Recuperado de <http://www.fao.org/publications/sofa/es/>, consultado en noviembre de 2011.

IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. In: Salomon, S., Quin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M., and Miller, H.D. (eds). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press, Cambridge.

Hazell, P. (2011). *Five big questions about five hundred million small farms*. Paper presented at the IFAD Conference on New Directions for Smallholder Agriculture, 24-25 January 2011, Rome, Italy. Recuperado de <http://www.ifad.org/events/agriculture/doc/papers/hazell.pdf>, consultado en noviembre de 2011.

Leewuis, C. (2004). *Communication for rural innovation. Rethinking agricultural extension*. Oxford, UK: Blackwell Science.

Naciones Unidas. (2010). *Outcome document of the High-level Plenary Meeting of the General Assembly on the Millennium Development Goals, 20-22 September 2010, New York, United States of America*. Recuperado de <http://www.un.org/es/mdg/summit2010/>, consultado en noviembre de 2011.

United Nations Population Division. (2011). *World population prospects: The 2010 revision*. Recuperado de <http://www.unpopulation.org>, consultado en noviembre de 2011.

- Schmidhuber, J., & Tubiello, F.N. (2007). Global food security under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, *104*, 19703–19708.
- Sonnino, A. (2011). Biodiversidad y biotecnologías: el eslabón estratégico. V. Ivone (ed.) *Biodiversidad, Biotecnología y Derecho. Un crisol para la sustentabilidad*. Page 299-320, Roma, Italia: Aracne editrice. Recuperado de <http://www.fao.org/docrep/article/am323s.pdf>.
- Stone, G. (2002). Both sides now: Fallacies in the genetic-modification wars, implications for developing countries, and anthropological perspectives. *Curr. Anthropol.* *43*, 611-6.
- World Bank. (2006). *Enhancing Agricultural Innovation: How to Go beyond the Strengthening of Research Systems*. World Bank: Washington, D.C.
- World Bank. (2007). *Population Issues in the 21st Century: The Role of the World Bank. Health, Nutrition and Population (HNP) Discussion Paper*. Washington D.C.: The World Bank. Recuperado de <http://go.worldbank.org/U1JFPYG4Y0>, consultado en noviembre de 2011.
- World Bank. (2007b). *World development report 2008: Agriculture for development*. World Bank: Washington, DC. Recuperado de <http://go.worldbank.org/LBJZD6HWZ0>, consultado en noviembre de 2011.
- World Bank. (2010). *World Development Report 2010: Development and climate change*. Washington DC: World Bank.