

Andrea Sonnino¹

Biodiversidad y biotecnologías

El eslabón estratégico

SUMARIO: 1. El marco político internacional – 2. Definiciones de biodiversidad y de biotecnología – 3. Importancia de la biodiversidad, su distribución y amenazas a su existencia – 4. Rol de las biotecnologías para conservar y aprovechar la biodiversidad – 5. La brecha biotecnológica – 6. Perspectivas.

«L'histoire... célèbre les champs de bataille qui nous tuent, elle garde le silence sur les champs de culture qui nous font vivre; elle sait les bâtards des rois, elle ne sait pas l'origine du froment. Ainsi le veut la sottise humaine.»²

1. El marco político internacional

Los Jefes de Estado y de Gobierno que se han dado cita en la Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria en Roma en noviembre 2009, han declarado: “Nos alarma que las personas

1. 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); 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, Subdirección de Investigación y Extensión, Oficina de Intercambio de Conocimientos, Investigación y Extensión, FAO, Roma, Italia.

2. Fabre, J.H., *Souvenirs entomologiques*, XI série (inachevée), Chapitre 2 - *La chenille du chou*. [La historia celebra los campos de batallas donde encontramos la muerte, pero guarda silencio sobre los campos arados que nos alimentan; habla de los hijos bastardos de los reyes, pero nada nos cuenta del origen del trigo. Así lo quiere la tontería humana.], 1907.

aquejadas por el hambre y la pobreza sean ahora más de 1 000 millones. Esta situación constituye una lacra inaceptable en las vidas, los medios de subsistencia y la dignidad de una sexta parte de la población mundial”³. La misma declaración reconoce: “que incrementar la productividad agrícola es el medio principal para satisfacer la creciente demanda de alimentos dadas las limitaciones relativas al aumento de la cantidad de tierra y agua usada para la producción alimentaria”⁴. y promete que se abordarán: “el acceso a la tierra y el agua así como su uso sostenible, el mantenimiento de la salud y productividad de todos los ecosistemas y la mejora de la gestión de la biodiversidad vinculada a la alimentación y la agricultura”⁵. De esta manera los Jefes de Estado y de Gobierno han confirmado el vínculo indisoluble entre la seguridad alimentaria y la biodiversidad, considerada como un recurso indispensable para la producción de alimentos, del mismo rango que la tierra y el agua, concepto ya afirmado por algunos documentos de diferentes organismos de las Naciones Unidas, entre otros por el Secretario General Kofi Annan en 2004⁶.

En la misma Cumbre Mundial en Roma en noviembre 2009, los Jefes de Estado y de Gobierno se comprometieron a tratar: “de movilizar los recursos necesarios para incrementar la productividad, incluso por medio del examen, la aprobación y la adopción de biotecnologías y otras tecnologías nuevas e innovaciones que sean seguras, eficaces y ambientalmente sostenibles.” Se ha reconocido por lo tanto que, aunque las medidas necesarias para conseguir la seguridad alimentaria van mucho más allá del hecho de producir más productos alimenticios y agrícolas, impulsar la productividad de las explotaciones de los pequeños agricultores a través de una aplicación adecuada de tecnologías mejoradas, incluyendo las aplicaciones de las biotecnologías, tiene que ser un elemento fundamental de las políticas de desarrollo.

3. Declaración de la Cumbre Mundial sobre la Seguridad Alimentaria, Roma, 16-18 de noviembre de 2009, <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/Meeting/018/k6050s.pdf> .

4. Ibidem.

5. Ibidem.

6. Comunicado de Prensa SG/SM/9539 www.un.org/News/Press/docs/2004/sgsm9539.doc.htm

Este concepto ya estaba enunciado en los marcos políticos convenidos internacionalmente. Por ejemplo, el capítulo 16 del Programa 21, aprobado por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo en 1992 en Río de Janeiro⁷, apunta que, por sí misma, la biotecnología no puede resolver todos los problemas fundamentales del medio ambiente y el desarrollo, pero promete contribuir de manera significativa a una gama de aspectos clave, entre ellos el aumento de la seguridad alimentaria a través de prácticas agrícolas sostenibles.

Además, en la resolución 2004/68 sobre Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas (ECOSOC)⁸ se señala que es improbable que la mayor parte de los países en desarrollo pueda cumplir con los objetivos de desarrollo convenidos internacionalmente, incluidos los objetivos de desarrollo del Milenio (ODM)⁹, sino asumen un compromiso político claro de hacer que la ciencia y la tecnología sean prioridades máximas en sus programas de desarrollo, y enumera la biotecnología entre las tecnologías emergentes que deben ser impulsadas para reducir los costos y mejorar la probabilidad de conseguir los ODM.

Aún más, en su 62^o período de sesiones de 2007, la Asamblea General de las Naciones Unidas aprobó una resolución sobre tecnología agrícola para el desarrollo¹⁰ que “Insta a los órganos competentes del sistema de las Naciones Unidas a apoyar la labor emprendida por los Estados Miembros, en particular los países en desarrollo, para aprovechar plenamente los nuevos conocimientos en materia de tecnología agrícola e investigación y desarrollo

7. <http://earthwatch.unep.ch/agenda21/16.php>

8. Doc. E/2004/INF/2/Add.3 <http://www.un.org/docs/ecosoc/documents/2004/resolutions/eres2004-68.pdf>

9. Los ocho Objetivos de Desarrollo del Milenio, que abarcan desde la reducción a la mitad de la extrema pobreza y el hambre (ODM 1), hasta la detención de la propagación del VIH/SIDA y la consecución de la enseñanza primaria universal para el 2015, constituyen un plan convenido por todas las naciones del mundo y todas las instituciones de desarrollo más importantes a nivel mundial. Los ODM son adoptados por la Declaración del Milenio aprobada en la Cumbre del Milenio (septiembre de 2000 en Nueva York) <http://www.un.org/spanish/millenniumgoals/>

10. A/RES/62/190 (<http://www.undemocracy.com/A-RES-62-190.pdf>).

de innovaciones agrícolas con objeto de alcanzar los objetivos de desarrollo del Milenio pertinentes, y, especialmente, de erradicar la pobreza y el hambre.” La resolución exhorta también “a las instituciones públicas y privadas a seguir desarrollando variedades mejoradas de cultivos que resulten apropiadas para distintas regiones, especialmente las afectadas por factores ambientales, incluido el cambio climático, y a desarrollar y gestionar dichos cultivos de manera sostenible, y exhorta también a todos los interesados a seguir esforzándose por asegurar que las variedades mejoradas de cultivos estén al alcance de los pequeños agricultores y sean asequibles para ellos, de forma compatible con la normativa nacional y los acuerdos internacionales pertinentes.” Aún sin mencionar directamente las biotecnologías, la Asamblea General de las Naciones Unidas hace clara referencia al vínculo entre adopción de tecnologías avanzadas por los pequeños productores agrícolas y la erradicación de pobreza y el hambre y recalca la importancia del desarrollo de variedades mejoradas, introduciendo, indirectamente, el uso de la biodiversidad y de los recursos genéticos.

Y la resolución aprobada por la Asamblea General de las Naciones Unidas en su 64^o periodo de sesiones de 2010, hace una directa alusión a la biotecnología, al afirmar que: “[...] hay que movilizar los recursos necesarios para aumentar la productividad, especialmente para examinar, aprobar y adoptar nuevas tecnologías, como la biotecnología, y otras innovaciones que son inocuas, eficaces y ecológicamente sostenibles”¹¹.

Ya en 2002, había tenido lugar en la sede de la FAO la ‘Cumbre Mundial de la Alimentación: cinco años después’, en la que participaron delegaciones de más de 180 países. En esta ocasión, los Jefes de Estado y de Gobierno aprobaron unánimemente una Declaración¹² que estableció, con respecto a las biotecnologías: “Pedimos

11. A/RES/64/224.

<http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/No9/475/27/PDF/No947527.pdf?OpenElement>

12. Declaración de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación: *cinco años después*

http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/005/Y7106s/Y7106S07.htm#P1382_147249

a la FAO que promueva, conjuntamente con el GCAI¹³ y otros institutos internacionales de investigación, la investigación agrícola y la investigación de nuevas tecnologías, incluida la biotecnología. La introducción de nuevas tecnologías de eficacia probada, incluida la biotecnología, debería realizarse de forma inocua y adaptada a las condiciones locales para contribuir al aumento de la productividad agrícola en los países en desarrollo. Estamos resueltos a estudiar, compartir y facilitar el uso responsable de la biotecnología con miras a hacer frente a las necesidades de desarrollo.”

En ese derrotero, la Declaración¹⁴ aprobada por 181 países y la Comunidad Europea en la Conferencia de Alto Nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía, celebrada en Roma en 2008, exhortó a: “a la comunidad internacional, incluido el sector privado, a que intensifique considerablemente la inversión en ciencia y tecnología para la alimentación y la agricultura. Los mayores esfuerzos en cooperación internacional deberían orientarse a la investigación, el desarrollo, la aplicación, la transferencia y la difusión de mejores tecnologías y planteamientos sobre las políticas. Instamos a los Estados Miembros a establecer, de conformidad con el Consenso de Monterrey, unos entornos de gobernanza y de políticas que faciliten la inversión en tecnologías agrícolas mejoradas.” La Declaración introduce un concepto de fundamental importancia cuando agrega que: “Resulta esencial abordar la cuestión fundamental de la forma de aumentar la resistencia de los actuales sistemas de producción de alimentos ante los desafíos planteados por el cambio climático. En este contexto, el mantenimiento de la biodiversidad es fundamental para sostener el rendimiento futuro de la producción.”

Resumidamente, el marco político consensuado a nivel internacional coincide en sostener los siguientes asuntos: (i) la erra-

13. Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional.

14. Declaración de la Conferencia de alto nivel sobre la Seguridad Alimentaria Mundial: los Desafíos del Cambio Climático y la Bioenergía http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/foodclimate/HLCdocs/declaration-S.pdf .

dicación de la pobreza y el hambre es un objetivo prioritario de la iniciativa internacional; (ii) la biodiversidad es un recurso fundamental para garantizar la producción de alimentos y otros productos agrícolas y para asegurar la adaptación a los cambios climáticos; (iii) para luchar contra la pobreza y el hambre es necesario aumentar la producción agrícola, en concreto de los pequeños productores agrícolas; (iv) la generación y la adopción de tecnologías mejoradas son fundamentales para mejorar la producción agrícola; (v) entre las nuevas tecnologías, las biotecnologías tienen un potencial muy alto y pueden contribuir de manera significativa a la mejora de la producción agrícola.

Este trabajo intenta explorar las conexiones entre biodiversidad y biotecnologías y las consecuencias de sus interacciones en el desarrollo agrícola y la lucha contra la pobreza y el hambre.

2. Definiciones de biodiversidad y de biotecnología

Según el Convenio sobre la Diversidad Biológica, por “diversidad biológica” o biodiversidad se entiende “la variabilidad entre organismos vivos de todas las procedencias, incluyendo, entre otros, los ecosistemas terrestres y marinos y otros ecosistemas acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas”¹⁵. La definición es muy amplia y abarca los tres niveles de diversidad:

- i. *genética o intraespecífica*, consistente en la diversidad de formas de los genes (los alelos) y de su distribución, que forma la variación interindividual dentro de una especie (un ejemplo de diversidad genética son las razas de los animales domésticos, o las variedades de las plantas cultivadas);
- ii. *interespecífica*, consistente en la diversidad entre los sistemas genéticos (los genomas) que distinguen a las especies; y

15. Convenio sobre la Diversidad Biológica (<http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf>).

iii. *ecosistémica*, consistente en la diversidad entre las comunidades biológicas (por ejemplo los ecosistemas naturales como las praderas, los manglares, los arrecifes coralíferos y los bosques tropicales, pero también los agroecosistemas, cuya existencia depende de las actividades humanas)¹⁶.

Las herramientas más adecuadas para describir la diversidad biológica no pueden ser estáticas, deben considerar también la dimensión temporal, entendiéndose que todos los ecosistemas están en evolución constante. Tampoco pueden ser meramente descriptivas, porque la diversidad biológica no siempre es perceptible a nivel sensorial.

Un subconjunto de la biodiversidad son los “recursos genéticos”, definidos por el Convenio sobre la Diversidad Biológica como “el material genético de valor real o potencial”¹⁷.

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”¹⁸.

La biotecnología abarca una amplia gama de tecnologías que puede aplicarse a una serie de finalidades diferentes, tales como el mejoramiento genético de variedades vegetales y poblaciones animales, para aumentar sus rendimientos o eficacia; la caracterización genética y la conservación de los recursos genéticos; el diagnóstico de las enfermedades vegetales y animales; la preparación de vacunas y la mejora de piensos. Algunas de esas tecnologías pueden aplicarse a todos los sectores alimentarios y agrícolas; por ejemplo, el uso de marcadores moleculares de ADN o la modificación genética, mientras otros se aplican a determinados sectores, tales como el cultivo de tejidos (en cultivos y árboles forestales), la transferencia de embriones (ganado) o la triploidi-

16. El Convenio sobre la Diversidad Biológica define “ecosistema” como: “un complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional.” (<http://www.cbd.int/doc/legal/cbd-un-es.pdf>).

17. Ibidem.

18. Ibidem.

zación e inversión de sexo (en peces). Cuando se integran adecuadamente con otras tecnologías para la producción de alimentos, productos agrícolas y servicios, las biotecnologías pueden aportar una ayuda importante para satisfacer las necesidades de una población en expansión y cada vez más urbanizada.

3. Importancia de la biodiversidad, su distribución y amenazas a su existencia

La biodiversidad que hoy alberga la Tierra es el resultado de procesos continuos de desarrollo de nuevas especies (o especiación), de adaptación de las especies existentes y, también, de su extinción; en definitiva: es el resultado de la evolución ocurrida a lo largo de los últimos cuatro mil millones de años. Los procesos de extinción han conducido a la desaparición del 99% de las especies que alguna vez han existido en la Tierra. En la actualidad, unos 30 millones de especies de organismos vivos habitan la Tierra, si bien no conocemos más que entre uno y dos millones de ellas.

Los recursos biológicos del planeta son fundamentales para el desarrollo económico, cultural y social de la humanidad, ya que satisfacen cerca del 80% de las necesidades humanas, incluyendo las ecológicas, sociales, científicas, medicinales y terapéuticas, culturales y recreativas, y sostienen más del 40% de la economía global.

Consecuentemente, la diversidad representa un capital natural que permite satisfacer necesidades primordiales de la humanidad: es la fuente fundamental de la alimentación; de ella se obtiene la materia prima para el vestuario y el abrigo; es la fuente de productos medicinales y terapéuticos, tanto en forma natural como en productos farmacéuticos comerciales; representa un alto porcentaje de la energía combustible utilizada en países en desarrollo; suministra una gran variedad de bienes y servicios, como material para construcción, mobiliario y utensilios domésticos; es la base fundamental para el mantenimiento del equilibrio ambiental y climático, incluidos el mantenimiento de las fuentes de agua, la estabilización de los suelos y el control de la erosión. Adicionalmente, se debe considerar el valor estético y paisajístico de la

diversidad, componente de la recreación del hombre y elemento cultural fundamental¹⁹. La importancia que tiene la biodiversidad en las culturas humanas es puesta de manifiesto en muchos rituales y ceremonias religiosas a través de todo el planeta.

Los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura²⁰ están entre los recursos más importantes de la Tierra. Los cultivos, los animales de la granja, los organismos acuáticos, los árboles del bosque, los microorganismos e invertebrados, miles de especies y su variabilidad genética, constituyen la base de la seguridad alimentaria mundial y, directa o indirectamente, sostienen los medios de subsistencia de todas las personas del planeta²¹.

A pesar de que un gran número de plantas son comestibles, y que más de 7 000 especies de plantas se han cultivado o recogido para la obtención de alimentos, sólo “30 cultivos proporcionan el 95 % de las necesidades de energía alimentaria del ser humano, y tan solo cuatro de ellos – el arroz, el trigo, el maíz y las patatas – suministran más del 60 %. [...] Aunque el número de especies de plantas que proporcionan la mayor parte de la energía y la proteína en el mundo es, en términos relativos, reducido, la diversidad genética dentro de este tipo de especies es inmensa. Por ejemplo, se calcula que el número de variedades de la especie de arroz (*Oryza sativa*) es superior a 100 000. Las comunidades agrícolas de los Andes cultivan más de 175 variedades de patata conocidas localmente. Es esta diversidad dentro de las especies lo que permite la producción de cultivos en diferentes regiones y situaciones, tanto en lo que respecta a las condiciones del clima, como del suelo²². Al disminuir la variación genética en los

19. Hodson de Jaramillo, E., *Ecological Aspects of Biosafety*. In: Chowdhury M. K. A., Hoque, I, Sonnino, A. (eds.), *Biosafety of Genetically Modified Organisms: Basic concepts, methods and issues*, FAO, Rome, 2009.

20. Para los fines de este trabajo el término agricultura es utilizado en su significado más amplio, incluyendo los cultivos, el sector pecuario, las agroindustrias, la silvicultura, la pesca y la acuicultura.

21. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Biodiversidad para un mundo sin hambre. (<http://www.fao.org/nr/cgrfa/es/>).

22. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Recursos filogenéticos. O se utilizan o se pierden. <http://www.fao.org/nr/cgrfa/es/>

cultivos, aumenta su vulnerabilidad frente a agentes patógenos nuevos o a los cambios del clima, disminuyendo su resistencia a plagas y a las presiones ambientales.

Así también, aún si el 90 % de los alimentos de origen animal derivan desde solo 14 mamíferos y aves domésticos, “la biodiversidad ganadera es fundamental para la seguridad alimentaria y de los medios de vida, especialmente en el mundo en desarrollo. El ganado proporciona carne, leche, huevos, fibras, pieles, estiércol utilizado como fertilizante y combustible, además de fuerza de arrastre para el cultivo y el transporte, y una considerable variedad de otros productos y servicios. Gran parte – aproximadamente un 70% – de la población rural pobre del mundo cría ganado y lo considera un componente importante de su vida. Los animales domésticos contribuyen también al mantenimiento de los ecosistemas en los que viven, proporcionando servicios, tales como la dispersión de semillas y el ciclo de nutrientes. La diversidad genética define los rasgos funcionales de las razas ganaderas permitiendo a la gente mantener el ganado en una amplia variedad de condiciones ambientales. Gracias a ello, los animales domésticos sobreviven en algunas de las zonas más inhóspitas de la Tierra - desde la tundra ártica y las altas montañas a los desiertos cálidos y áridos - donde la producción de cultivos es difícil o imposible”²³. La base de datos global de la FAO sobre los recursos genéticos animales para la agricultura y la alimentación incluye información sobre un total de 7 616 razas animales²⁴.

“Aunque el ser humano empezó a domesticar plantas y animales para su uso en la agricultura y la alimentación hace aproximadamente 12.000 años, más del 90 % de las especies acuáticas actualmente en cultivo han sido domesticadas únicamente desde el inicio del siglo XX. La FAO estima que en todo el mundo se cultivan 236 especies de peces, invertebrados acuáticos y plantas

23. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Recursos zoogenéticos: una red de seguridad para el futuro. (http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/CGRFA/factsheets_animal_es.pdf)

24. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture (2009) State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1250e/a1250e00.pdf>.

acuáticas, muchas de las cuales se han domesticado únicamente en los últimos 25 años”²⁵, pero pone de manifiesto la relevancia que la riqueza mundial de los recursos genéticos pesqueros ofrece grandes posibilidades al sector de la acuicultura y la pesca para mejorar su contribución a la seguridad alimentaria y dar respuesta al reto que supone alimentar a una población humana en crecimiento.

“La diversidad genética proporciona la base fundamental para la evolución de las especies arbóreas forestales. Esta diversidad ha permitido que los bosques y los árboles se adapten a condiciones cambiantes y adversas durante miles de años y ha traído como resultado una variedad única e insustituible de recursos genéticos de los árboles forestales. No obstante, la gran mayoría de la diversidad genética forestal permanece desconocida, especialmente en los bosques tropicales. Las estimaciones del número de especies arbóreas varían de 80 000 a 100 000; sin embargo, menos de 500 se han estudiado con alguna profundidad en cuanto a su potencial presente y futuro. Hasta hace poco, los estudios de los recursos genéticos de los árboles forestales sólo se concentraban en domesticar aquellos considerados de mayor utilidad para la producción de madera, fibra y combustible a partir de sistemas de plantaciones”²⁶.

“Los investigadores llaman biodiversidad “oculta” la diversidad de microorganismos y invertebrados, que comprende una variedad de especies tan numerosa que resulta incalculable. Se trata de: levaduras, bacterias y hongos, visibles sólo con el microscopio; insectos, arañas y lombrices, todos ellos contribuyen de forma valiosa a los ecosistemas de los que depende la cadena alimentaria. Polinizan cultivos y árboles, reciclan nutrientes en los suelos, ayudan a los animales a digerir forrajes de lo contrario indigestos, fermentan el pan y el queso, y, con una gestión adecuada, pueden

25. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Diversidad acuática: sumergida e inexplorada. http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/CGRFA/factsheets_aquatic_es.pdf

26. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Recursos genéticos forestales: soluciones para una ordenación forestal sostenible. http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/CGRFA/factsheets_forest_es.pdf.

proporcionar a las plantas protección natural contra las plagas en los campos agrícolas. Entre los microorganismos y los invertebrados se incluyen también los agentes patógenos y los vectores, los parásitos y las plagas que atacan, transportan y propagan enfermedades. Los microorganismos y los invertebrados son sin duda indispensables para la agricultura y la producción de alimentos. Comprender y gestionar este segmento de la biodiversidad del mundo, así como reconocer sus aportaciones, son fundamentales para el desarrollo agrícola sostenible general²⁷.

La biodiversidad no se distribuye uniformemente en la tierra. Es más rica en los trópicos, y decrece al aumentar la latitud y la altitud. En la tierra, también es mayor en áreas de alta precipitación y menor en áreas secas. No existe ningún país autosuficiente en lo que se refiere a recursos genéticos para la alimentación y la agricultura, todos los países dependen de la diversidad genética de otros países y regiones para garantizar la seguridad alimentaria de sus pueblos²⁸. Según los cálculos de la FAO la interdependencia media de los países es de un 80. % o más²⁹.

Pero, los recursos genéticos se están perdiendo en plazos alarmantes, debido a las actividades humanas y su efecto en el ambiente, como ha sido denunciado por el Secretario General de Naciones Unidas y por el Director General de la FAO^{30, 31}. La creciente destrucción y alteración de la diversidad biológica gene-

27. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura. Los microorganismos y los invertebrados: amplificación de la biodiversidad oculta. http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/CGRFA/factsheets_microorganism_es.pdf

28. Kloppenburg J.R., *First the seed: the political economy of plant biotechnology*, 1492-2000. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 1988.

29. Fujisaka S., Willams D., Halewood M., *The impact of climate change on countries' interdependence on genetic resources for food and agriculture*. Comisión de Recursos Genéticos para la Alimentación y la Agricultura, Background study paper no. 48., 2009. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/017/ak532e.pdf> .

30. Comunicado de Prensa SG/SM/9539 <http://www.un.org/News/fr-press/docs/2004/SGSM9539.doc.htm> .

31. Mensaje del Director General de la FAO en el Día Mundial de la Alimentación/TeleFood sobre la biodiversidad al servicio de la seguridad alimentaria http://www.fao.org/wfd/2004/dgmessage_2004_es.asp .

rada por el ser humano está poniendo en peligro las bases de un desarrollo sostenible. La pérdida de diversidad biológica amenaza seriamente los procesos ecológicos como el control de la erosión de los suelos, las fuentes de agua, la purificación del agua y del aire y los ciclos de nutrientes en la biosfera.

La pérdida acelerada de diversidad biológica de los últimos lustros obedece sustancialmente a factores antropogénicos. Casi toda forma de actividad humana sostenida en forma regular tiene como resultado alguna modificación del ambiente natural. Estas modificaciones afectan a la abundancia relativa de genes, especies y ecosistemas (biodiversidad intraespecífica, interespecífica y ecosistémica) y, en casos extremos, puede llevar a la extinción de las mismas. Por ejemplo, se calcula que solamente en los últimos seis años se extinguieron 62 razas de animales domésticos³². La pérdida de biodiversidad puede ser impulsada por cinco presiones principales: (i) el cambio del hábitat, de manera tal que lo hacen inadecuado para algunas especies (tala de bosques, polución de los ríos) o por fragmentación del hábitat, lo cual tiene el efecto de dividir poblaciones que se encuentran contiguas, en subpoblaciones más pequeñas; (ii) la sobreexplotación de especies de plantas y animales; (iii) la contaminación del suelo, el agua y la atmósfera; (iv) las especies exóticas invasoras; y (v) el cambio climático.

La pérdida de biodiversidad agrícola, representada en forma de variedades de cultivos y razas animales mejoradas, tiene poca magnitud en relación a la biodiversidad global, pero la erosión genética en estas poblaciones es preocupante, en la medida en que tiene severas implicaciones en el suministro de alimentos y la sostenibilidad de prácticas locales de producción agropecuaria. Con la erosión de estos recursos, la humanidad pierde el potencial de adaptarse a nuevas condiciones socioeconómicas y medioambientales, como el crecimiento demográfico y el cambio climático.

La tercera edición de la Perspectiva Mundial sobre la Biodiversidad publicada por la Secretaría del Convenio sobre la Diversidad

32. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture (2009) State of the World's Animal Genetic Resources for Food and Agriculture. FAO, Rome <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1250e/a1250e00.pdf> .

Biológica observa que: “hay múltiples indicios de la continua pérdida de los tres componentes principales (genes, especies y ecosistemas) de la biodiversidad”, resaltando que “no se ha alcanzado la meta acordada en 2002 por los gobiernos del mundo, de lograr para el año 2010 una reducción significativa del ritmo actual de pérdida de la biodiversidad, a nivel mundial, regional y nacional, como contribución a la reducción de la pobreza y en beneficio de todas las formas de vida en la tierra”; y agrega “la pérdida de la biodiversidad en sí es un problema que causa profunda preocupación. La biodiversidad también sustenta el funcionamiento de los ecosistemas, que prestan una amplia gama de servicios a las sociedades humanas. Por lo tanto, su pérdida constante tiene graves repercusiones para el bienestar presente y futuro de la humanidad”³³.

4. Rol de las biotecnologías para conservar y aprovechar la biodiversidad

El mantenimiento de la diversidad biológica en todos los niveles puede realizarse a través de dos estrategias complementarias: conservación en el sitio (*in situ*) o fuera del sitio (*ex situ*); se usan también programas integrados que complementan las dos opciones. La conservación *in situ* consiste en la conservación de la diversidad biológica manteniendo los organismos en su estado silvestre y sus condiciones naturales. La conservación *in situ* se realiza en los ecosistemas naturales, en las parcelas de los agricultores y en territorios de comunidades locales, aplicando técnicas tradicionales y respetando los aspectos culturales. Es, por ejemplo, la conservación de los bosques nativos, que realizan los Estados dentro de los sistemas de Parques Nacionales (que involucran la flora y la fauna), o la conservación, uso y gestión de variedades agrícolas, plantas medicinales y especies silvestres, entre otras,

33. Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica (2010), Perspectiva Mundial sobre la Diversidad Biológica 3. Montreal. (<http://www.cbd.int/gbo/gbo3/doc/GBO3-final-es.pdf>).

que realizan las comunidades locales, indígenas y campesinas dentro de sus parcelas agrícolas, bosques y rastrojos y ríos³⁴. La conservación *in situ* ofrece las ventajas de permitir los procesos dinámicos de adaptación y evolución de los recursos genéticos conservados, y de promover la participación activa en la actividad de conservación de las poblaciones interesadas. Por otro lado, la conservación *in situ* es vulnerable y los recursos genéticos quedan expuestos a riesgos e, incluso, a su pérdida inadvertida. El número de áreas protegidas en el mundo ha crecido en los últimos años hasta llegar a 70 000 en 2007, cubriendo una superficie total 17.5 millones de kilómetros cuadrados³⁵; y aún, las iniciativas de conservación de biodiversidad *in situ* fuera de ellas están en aumento continuo³⁶.

Por su parte, la conservación fuera del sitio de origen o *ex situ* es la conservación y colección de recursos genéticos o sus productos derivados fuera de sus condiciones naturales. Incluye, entre otros, jardines botánicos y zoológicos, *arboreta*, bancos de semillas, de embriones, de óvulos y de esperma, y colonias de microorganismos. Los bancos de semillas, de embriones, de óvulos y de esperma, conocidos como bancos de genes o de germoplasma³⁷, son instalaciones con humedad y temperatura controladas que permiten la conservación de plantas, semillas, animales, microorganismos o partes de ellos, tales como órganos, células y genes. Estos bancos suministran a los investigadores los materiales para la investigación y la obtención de plantas y animales mejorados. Hoy en día se conservan en colecciones *ex situ* alrededor de

34. Véase nota 18.

35. World Database on Protected Areas (WDPA) citado en Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture (2009) The second report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Doc. CGRFA-12/09/Inf.7 Rev.1 <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/017/ak528e.pdf>.

36. *Ibidem*.

37. Se define germoplasma un individuo, un grupo de individuos o clones representativos de un genotipo, variedad, especie o cultivo, que forma parte de una colección mantenida *in situ* o *ex situ* (Glosario de biotecnología para la agricultura y la alimentación (<http://www.fao.org/biotech/find-form-n.asp>)).

7.4 millones de accesiones³⁸ de recursos genéticos vegetales, 25% de ellas son únicas o de especies extinguidas en la naturaleza³⁹.

Las biotecnologías ofrecen un abanico de herramientas poderosas para conservar, conocer y usar de manera sustentable los recursos genéticos⁴⁰. El Cuadro 1 resume las actividades de conservación y utilización de los recursos genéticos para la agricultura y la alimentación en las cuales las biotecnologías ofrecen ventajas comparativas sobre otras tecnologías tradicionales o simplemente permiten lograr objetivos que no se pueden conseguir sin ellas. La información brindada por el análisis molecular resulta indispensable para formular estrategias de conservación y de ordenación de los bancos de germoplasma, por ejemplo para asegurar que las muestras guardadas en los bancos de germoplasma sean representativas de la variabilidad genética existente^{41, 42}, para averiguar que el material genético conservado no modifique su estructura genética como resultado de las tecnologías adoptadas para la conservación⁴³, y para el establecimiento de colecciones de referencias⁴⁴. El estudio de la variabilidad genética existente en poblaciones naturales brinda informaciones precisas para la conservación de su diversidad: por ejemplo el estudio de la estructura de las poblaciones de peces

38. Las accesiones son muestras de una variedad de planta colectadas en sitios y fechas específicos.

39. Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture (2009) The second report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. Doc. CGRFA-12/09/Inf.7 Rev.1 <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/meeting/017/ak528e.pdf>.

40. Ruane, J., Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resource*, FAO, Rome, 2006.

41. Lanteri S., Barcaccia G., *Molecular marker based analysis for germplasm preservation*, in Ruane, J., Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*, FAO, Rome, 2006.

42. Simianer H., *Use of molecular markers and other information for sampling germplasm to create an animal gene bank*, in Ruane, J., A. Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*, FAO, Rome, 2006.

43. de Vicente M.C., Guzmán F.A., *Genetic Characterization and its use in decision making for the conservation of crop germplasm*, in Ruane, J., Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*, FAO, Rome, 2006.

44. Subconjunto de de accesiones seleccionadas para incluir la máxima variabilidad posible en un numero limitado de muestras.

indica aquellas poblaciones en las cuales la pesca excesiva puede ser dañina para la persistencia de la especie⁴⁵.

Las biotecnologías encuentran valiosas aplicaciones como tecnologías de conservación. El cultivo *in vitro* de tejidos vegetales permite conservar en ambiente aséptico germoplasma de especies a propagación vegetativa, evitando por lo tanto posibles contaminaciones con plagas o enfermedades. Además consiente la conservación de recursos genéticos de aquellas especies que no producen semillas, como los plátanos y las bananas, o que producen semillas que no pueden ser guardadas. La conservación criobiológica⁴⁶, o criopreservación, consiste en el almacenamiento de material biológico a temperatura ultra-baja, usualmente en nitrógeno líquido (-196° C) y se utiliza principalmente para la conservación de largo plazo de especies vegetales de semilla recalcitrante o de propagación vegetativa⁴⁷ y de especies animales⁴⁸.

La caracterización de los recursos genéticos debe acompañar su conservación para que se conozca cosa se conserva, y la actividad de conservación cumpla más provechosa y eficiente función, de lo contrario los bancos de germoplasma se convierten en polvorientos museos de semillas sin alguna posible utilización práctica. La caracterización de los recursos genéticos permite identificar las accesiones que tienen características valiosas y potencial aplicación práctica en los programas de mejora genética. Asimismo-

45. Hansen M., *The use of molecular markers for preserving genetic resources in wild fish populations*. Presented at the SBSTTA Side Event on 'Biotechnology as a toolbox to study and monitor agricultural genetic resources', Friday 22 February, Rome (<http://www.fao.org/biotech/docs/hansen.htm>), 2008.

46. Conservación del germoplasma en estado latente mediante su almacenamiento a muy bajas temperaturas, normalmente sumergido en nitrógeno líquido. Actualmente se aplica para el almacenaje de semillas y polen de plantas, microorganismos, esperma animal, y líneas celulares de cultivo de tejidos. (Glosario de biotecnología para la agricultura y la alimentación (<http://www.fao.org/biotech/findform-n.asp>)).

47. Panis B., Lambardi M., *Status of cryopreservation technologies in plants (crops and forest trees)*, in Ruane, J., Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources.*, FAO, Rome, 2006.

48. Hiemstra S.J., Van der Lende T., Woelders H., *The potential of cryopreservation and reproductive technologies for animal genetic resources conservation strategies*, in op.ult. cit., 2006.

mo, la caracterización ofrece la oportunidad de regular su acceso y de asegurar la distribución justa y equitativa de sus beneficios, especialmente en concomitancia con el manejo de los derechos de propiedad intelectual.

Los marcadores moleculares y las tecnologías genómicas son herramientas muy rápidas, precisas y dan resultados repetibles para la mencionada caracterización: los análisis moleculares no sufren de influencias ambientales, pueden ser realizados en cualquier estadio de crecimiento de los individuos estudiados (ventaja muy importante para las especies de largo crecimiento como los árboles forestales), y requieren muestras de pocas células⁴⁹.

Los recursos genéticos son la materia prima utilizada para la producción de nuevos cultivares de plantas, razas mejoradas de animales domésticos, y constituyen una reserva para la adaptabilidad necesaria para enfrentar – y proteger de – cambios ambientales y socio-económicos que pudieran ser nocivos. Las biotecnologías son, justamente, las herramientas idóneas para alcanzar esos objetivos: para identificar los caracteres de interés en los recursos genéticos, y para transferir estos caracteres desde las variedades nativas o las especies silvestres a las cultivares o las razas de animales domésticos. Manipulaciones de la ploidía, cultivo in vitro de embriones inmaduros, y otras biotecnologías permiten cruzar especies taxonómicamente distantes, entre las cuales no son posibles hibridaciones con técnicas tradicionales; así también, la selección asistida por marcadores moleculares se utiliza para seleccionar los individuos que reúnen las características positivas de la variedad cultivada que se quiere mejorar y el carácter beneficioso procedente del pariente nativo, ajeno o silvestre.

49. Guimaraes, E.P., Ruane J., Scherf B., Sonnino A., Dargie J., *Marker-Assisted Selection (MAS)*, in *Crops, Livestock, Forestry and Fish: Current Status and the Way Forward*, FAO, Rome, 2007.

Cuadro 1 – Utilización de biotecnologías para la conservación y la utilización de los recursos genéticos para la agricultura y la alimentación

Actividad	Biotecnología usada	Objetivo
Toma de decisiones en la gestión de programas de conservación de la biodiversidad	Marcadores moleculares	Estudio de la variabilidad genética y de dimensión de las poblaciones;
	Tecnologías genómicas	Flujo de genes entre poblaciones conservadas y poblaciones silvestres
		Creación de colecciones de referencia
Conservación	Cultivo in vitro de tejidos vegetales	Conservación de plantas a multiplicación vegetativa sin contaminación con enfermedades
		Conservación de plantas a multiplicación vegetativa que no producen semillas viables o la cuyas semillas no pueden ser conservadas
	Conservación criobiológica de células, órganos o tejidos vegetales	Conservación de plantas a multiplicación vegetativa que no producen semillas viables o la cuyas semillas no pueden ser conservadas
	Conservación criobiológica de esperma, embriones, ovocitos y líneas celulares de animales	Conservación de recursos genéticos animales (incluyendo ganado, aves y peces)
Caracterización de colecciones de germoplasma	Marcadores moleculares	Conocimiento de la variabilidad genética por fines científicos o prácticos
	Tecnologías genómicas	Protección de la propiedad de los recursos genéticos
Bioprospección ¹	Tecnologías genómicas	Identificación de genes de potencial interés práctico
Utilización de los recursos genéticos en programas de mejora genética	Cruces interespecíficos, intergenéricos (manipulación de la ploidía ² , cultivo in vitro de embriones)	Transferencia de caracteres de interés desde variedades nativas o especies silvestres a tipos domésticos
		Desarrollo de variedades o razas mejoradas
	Ingeniería genética	Transferencia de genes de interés a plantas cultivadas o animales domésticos

1. Bioprospección : Búsqueda sistemática de la biodiversidad, clasificación e investigación de genes con valor económico actual o potencial.

2. Ploidía Número de juegos completos de cromosomas por célula, por ejemplo, un juego: haploide, dos juegos: diploide, etc

5. La brecha biotecnológica

En algunos países en desarrollo se utilizan frecuentemente biotecnologías para la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos destinados a la alimentación y la agricultura, como la criopreservación, los cultivos de tejidos *in vitro*, el uso de marcadores moleculares^{50, 51, 52}, especialmente, pero no solo, para las plantas a propagación vegetativa^{53, 54}. Otros países en desarrollo todavía carecen de infraestructuras adecuadas y recursos humanos apropiadamente capacitados para aplicar ampliamente las técnicas ilustradas en la sección precedente, en especial modo aquellas biotecnologías, como por ejemplo las aplicaciones genómicas, que requieren equipos y capacidades particularmente sofisticados.

Los factores principales que incidieron en el insuficiente desarrollo de la aplicación de las biotecnologías para la conservación y el uso sostenible de los recursos genéticos en los países en desarrollo han sido la falta de elaboración de políticas apropiadas, y el consecuente bajo nivel de inversión pública, la debilidad de las instituciones de investigación, y la inadecuada formación de los investigadores y técnicos. Esta situación crea una sorprendente paradoja: muchos países en desarrollo son dotados de una gran riqueza de biodiversidad, pero carecen de las tecnologías y de las capacidades para aprovechar de este patrimonio y de transformar-

50. Dhlamini Z., C. Spillane, J.P. Moss, Ruane J., Urquia N. & Sonnino A., *Status of research and application of crop biotechnology in developing countries*, FAO, Rome, 2005.

51. Ruane, J., Sonnino A., *The role of Biotechnology in exploring and protecting agricultural genetic resources*, FAO, Rome, 2006.

52. Sonnino A., Carena M.J., Guimaraes E.P., Baumung R., Pilling D. & Rischowsky B., *An Assessment of the Use of Molecular Markers in Developing Countries*, in Guimaraes E.P., Ruane J., Scherf B., Sonnino A. (eds.), *Marker-Assisted Selection (MAS) in Crops, Livestock, Forestry and Fish, Current Status and the Way Forward*, FAO, Rome, 2007.

53. Current status and options for forest biotechnologies in developing countries. Doc. ABDC 10/4.1 http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/abdc/documents/forest.pdf

54. Current status and options for crop biotechnologies in developing countries. ABDC-10/3.1 http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/abdc/documents/crop.pdf

lo en recursos para el desarrollo del sector agrícola y de la sociedad en general.

6. Perspectivas

La insoslayable importancia de la biodiversidad parece ser un concepto universalmente reconocido, aún si los gobiernos del mundo tardan en tomar las medidas necesarias para parar o por lo menos retrasar su erosión. Su conservación resulta íntimamente interdependiente de las metas de reducción del hambre y la pobreza, y de la adaptación y mitigación del cambio climático.

Con la mirada en esos objetivos, las biotecnologías agrupan a una amplia gama de herramientas y metodologías que se aplican en cierta medida en cultivos, ganadería, sector forestal, pesca y acuicultura, y agroindustrias, y pueden contribuir a mantener la base de los recursos naturales en los países en desarrollo, incluida la biodiversidad. La contribución más grande a la protección de la biodiversidad es la de conseguir producir más alimentos y otros productos agrícolas usando menos tierras y otros insumos⁵⁵. Las biotecnologías pueden ayudar grandemente en este intento, además de las contribuciones que pueden brindar directamente a la conservación, la exploración y el uso sustentable de los recursos genéticos.

El debate polarizado que rodea a los organismos genéticamente modificados (OGM) frecuentemente dificulta el desarrollo de otras biotecnologías agrícolas en donde no existe controversia sobre sus posibles impactos ambientales y sus beneficios para los pequeños productores, así como sobre su importante papel frente al cambio climático.

Para que la biodiversidad agrícola pueda desplegar todo su potencial, y transformarse en un potente motor de desarrollo,

55. World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) and the International Union for Conservation of Nature (IUCN,) (2008). Agricultural Ecosystems: Facts & Trends <http://www.wbcsd.org/Plugins/DocSearch/details.asp?DocTypeId=25&ObjectId=MzA4NTI>

los países en desarrollo deberían reforzar las capacidades biotecnológicas de sus sistemas nacionales de investigación agrícola, lo que le permitiría conservar diligentemente su herencia natural, explorarla en profundidad y aprovechar los beneficios que puede brindarle para su desarrollo.

Para concluir este trabajo, no podemos no coincidir con los participantes en la Conferencia Técnica Internacional 'Biotecnologías agrícolas en los países en desarrollo (ABDC-10)⁵⁶ organizada por la FAO en Guadalajara, México en marzo 2010, donde convinieron en que:

- Los países en desarrollo deberían realizar inversiones considerablemente mayores y constantes en la creación de capacidad y el desarrollo y el uso seguro de las biotecnologías, integradas con otras tecnologías agrícolas, incluidos los conocimientos tradicionales, y mantener la base de recursos naturales para apoyar, en particular, a los pequeños agricultores, los productores y las pequeñas empresas basadas en la biotecnología, empleando métodos participativos eficaces para obtener aportaciones significativas de las partes interesadas en los procesos de toma de decisiones.
- La FAO y otras organizaciones internacionales pertinentes así como los donantes deberían aumentar significativamente sus esfuerzos para apoyar el fortalecimiento de la capacidad nacional respecto del desarrollo y el uso apropiado de biotecnologías agrícolas favorables a los pobres y orientadas a las necesidades de los pequeños agricultores, los consumidores, los productores y las pequeñas empresas basadas en la biotecnología en los países en desarrollo.

56. Biotecnologías agrícolas en los países en desarrollo: Opciones y oportunidades en la agricultura, la silvicultura, la ganadería, la pesca y la agroindustria para hacer frente a los desafíos de la inseguridad alimentaria y el cambio climático (ABDC-10), Guadalajara, México, 1 - 4 marzo 2010 <http://www.fao.org/fileadmin/templates/abdc/documents/reports.pdf>