

FORO

# Perspectivas de la agricultura mundial para el siglo XXI <sup>1</sup>

Norman E. Borlaug<sup>2</sup>  
Christopher R. Dowsell<sup>2</sup>

**RESUMEN.** Durante los últimos 40 años, la producción de alimentos se ha mantenido al ritmo del crecimiento demográfico del mundo. Con el aumento de los rendimientos en las tierras más aptas para la agricultura, los agricultores del mundo han podido reservar grandes áreas de tierra para otros propósitos. La agricultura en las regiones asiáticas en desarrollo ha logrado grandes avances económicos desde la crisis alimentaria de los años 60, aunque cientos de millones de personas todavía viven en la pobreza, sobre todo en el sur de ese continente. La producción de alimentos en la región del Sub-Sahara, en Africa, permanece en crisis. Los agricultores necesitan urgentemente aumentar el uso de fertilizantes, semillas mejoradas y prácticas agronómicas sostenibles. El mejoramiento de la infraestructura rural y de los sistemas de transporte también es esencial. El crecimiento y desarrollo de la agricultura en América Latina y el Caribe se caracterizan por grandes contrastes. Los grandes ganadores incluyen a aquellos agricultores que producen para los mercados de exportación. Durante los próximos 20 años, es probable que la demanda mundial de cereales aumentará en 40-50%, impulsada fuertemente por el creciente uso de cereales como alimento para animales. Con excepción de las áreas con suelos ácidos en América del Sur y Africa, el potencial por expandir el área de tierra cultivable a nivel mundial es limitado. Los futuros aumentos en la producción de alimentos deberán provenir principalmente de tierras que ya están en uso. En el Siglo XXI se deberá concretar una “Revolución azul,” en la cual la productividad asociada con el uso del agua deberá estar acorde con la productividad del uso de la tierra. El mejoramiento genético continuo de los cultivos alimenticios, tanto mediante herramientas convencionales como biotecnológicas, es necesaria para incrementar los rendimientos, así como su estabilidad. El mundo ya tiene la tecnología para alimentar una población de 10 mil millones de personas sobre una base productiva sostenible.

**Palabras clave:** Agricultura mundial, Perspectivas, Producción de alimentos

**ABSTRACT. Prospects for world agriculture in the 21<sup>st</sup> century.** During the past 40 years, food production has more than kept pace with global population growth. By increasing yields on the lands best suited to agriculture, world farmers have been able to leave untouched vast areas of land for other purposes. Developing Asia agriculture has made remarkable economic strides since the food crisis of the 1960s, although hundreds of millions still live in poverty, especially in South Asia. Food production in sub-Saharan Africa remains in crisis. Farmers urgently need to increase the use of fertilizers, improved seed and sustainable agronomic practices. Improved rural infrastructure and transport systems are also essential. Agriculture growth and development in Latin America and the Caribbean can be characterized by great contrasts. The greatest gainers have included those farmers that produce for export markets. Over the next 20 years, it is likely that world cereal demand will increase by 40-50 percent, driven strongly by rapidly growing animal feed use. With the exception of acid-soil areas in South America and Africa, the potential for expanding global land area is limited. Future expansions in food production must come largely from lands already in use. The 21<sup>st</sup> Century will need to bring about a “Blue Revolution,” one in which water-use productivity is much more closely wedded to land-use productivity. Continued genetic improvement of food crops—using both conventional as well as biotechnology research tools—is needed to shift the yield frontier higher and to increase stability of yield. The world has the technology to feed on a sustainable basis a population of 10 billion people.

**Key word:** World agriculture, prospects, Food production.

<sup>1</sup> Artículo presentado en la Serie de Conferencias Científicas Interamericanas Henry A. Wallace, “Enfoque Unificado de las Prioridades sobre Investigación Tropical en las Américas” Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica, 25-27 de febrero, 2002.

<sup>2</sup> Presidente y Asistente Especial del Presidente, respectivamente, de Sasakawa Africa Association.

## Introducción

Es un placer participar en la conferencia inaugural de la *Serie de Conferencias Científicas Interamericanas "Henry A. Wallace"*. Es muy satisfactorio que este evento se lleve a cabo en el Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), dado el papel que jugó Henry Wallace en el establecimiento del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, con el fin de promover mejoras en la producción de alimentos y como símbolo de un "panamericanismo eficaz". De hecho, el 17 de marzo de 1943, en su primer viaje internacional oficial como Vicepresidente de los Estados Unidos, Wallace viajó a Turrialba a colocar la primera piedra del edificio de la sede central, que indudablemente hoy todavía está en pie.

Tuve el placer de conocer a Henry A. Wallace. Fue una figura paradójica—un político perspicaz, un genetista brillante, un economista autodidacta, un autor prolífico, un hombre de negocios exitoso y un gran humanista. Fue líder de la revolución del maíz híbrido, pues desarrolló algunas de las primeras variedades híbridas comerciales y fundó la que actualmente es la compañía de semillas más grande del mundo, Pioneer Hi-bred International. Además, las razas de pollos "Hy-line" que desarrolló, llegaron en un momento dado a constituir el 75% de todas las gallinas ponedoras que se vendían en el mundo entero.

Su carrera en la política fue controversial, por decir lo menos. Descendiente de una prominente familia republicana de Iowa, se encargó de la compañía de publicaciones de su familia, la cual produjo la revista *Wallace Farmer*, uno de los semanarios sobre agricultura más influyentes de su época. Wallace ocupó dos puestos en el gabinete, sirvió cuatro años como Vicepresidente en la administración de Franklin Roosevelt y fue candidato presidencial en 1948 por el Partido Progresista. Muchos lo consideraban un izquierdista peligroso, mientras otros como el *Profeta del hombre común*. Muchos lo consideran el Secretario de Agricultura más influyente en toda la historia de Estados Unidos, por ser autor de muchos de los programas del Nuevo Trato ("*New Deal*"), que sacó a la agricultura y a las zonas rurales de Estados Unidos de la gran depresión económica de los años 30.

Henry Wallace también tuvo una influencia importante sobre el rumbo que tomó mi vida. Fue él quien ayudó a convencer a la Fundación Rockefeller de que estableciera el primer programa de asistencia agrícola de Estados Unidos para países extranjeros en 1943, llamado "Programa de Cooperación Agrícola

entre el Gobierno Mexicano y la Fundación Rockefeller", al cual me uní en 1944 cuando era un joven científico asignado a la investigación y el desarrollo del trigo. Luego de abandonar la política, Wallace visitaba de vez en cuando nuestro programa de investigación en México. Le gustaba bromear y me preguntaba "¿*Qué hace un buen muchacho de Iowa como tú, Norman, enredándose con un cultivo como el trigo? Deberías estar trabajando en maíz.*" La última vez que lo vi fue en 1963, en la celebración del Quincuagésimo Aniversario de la Fundación Rockefeller. Estaba muy interesado en las nuevas variedades de trigo semienano y su potencial para revolucionar la producción en Asia. "¿*Van tus nuevos trigos a marcar la diferencia en Asia?*", me preguntó. Yo le respondí, "Dénos cinco años y el sur de Asia será autosuficiente en lo que respecta a la producción de trigo". Y, como sabrán, este hito se alcanzó en 1968 en Pakistán y en 1972 en India.

## Desempeño del sistema mundial de alimentos

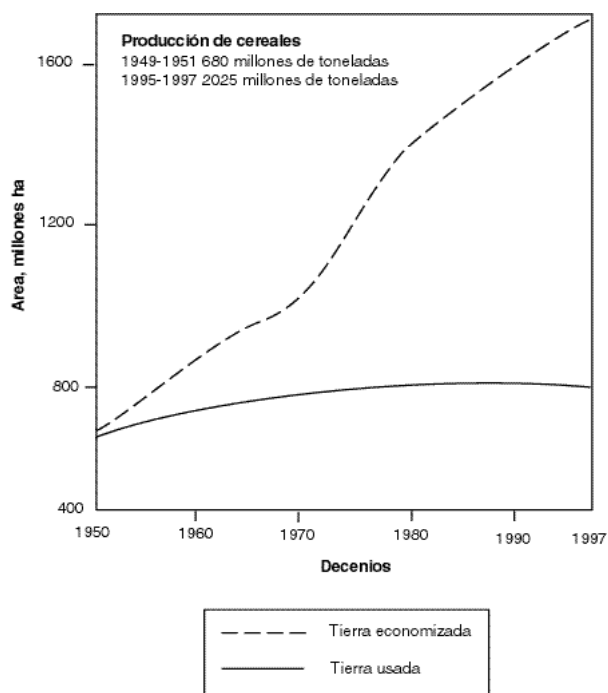
Durante los últimos 40 años la producción de alimentos se ha mantenido al mismo ritmo del crecimiento demográfico del mundo, gracias al flujo constante de variedades de alto rendimiento, las cuales se han combinado con mejores prácticas de manejo de cultivos. A nivel mundial, los suministros de alimentos per cápita en el mundo son un 23% más altos y los precios reales son un 65% más bajos de lo que eran en 1961. A pesar de este éxito, en los frentes de producción de alimentos y alivio de la pobreza no hay lugar para complacencias.

Fue a partir de la Segunda Guerra Mundial, que el uso de fertilizantes y especialmente la aplicación de nitrógeno de bajo costo derivado de amonio sintético, se ha convertido en un componente indispensable de la producción agrícola moderna (casi 80 millones de toneladas de nitrógeno como nutriente son aplicadas actualmente por año.) El Profesor Vaclav Smil, de la Universidad de Manitoba, quien ha estudiado los ciclos del nitrógeno durante la mayor parte de su vida profesional, estima que el 40% de los 6 mil millones de personas del mundo están vivas hoy gracias al proceso Haber-Bosch, el cual permite sintetizar el amoníaco (Smil 2000). Sería imposible que las fuentes orgánicas reemplacen esta cantidad de nitrógeno, sin importar cuánto tratáramos.

La intensificación agrícola ha ayudado a proteger los recursos ambientales, a pesar de problemas como la salinización, causada por sistemas de riego mal construidos y manejados, y la contaminación local de

algunos recursos hídricos freáticos y superficiales, la cual es causada en parte por el uso excesivo de fertilizantes, así como de los productos agroquímicos aplicados para la protección de los cultivos. Al aumentar el rendimiento en las tierras más aptas para la agricultura, los agricultores del mundo han podido reservar grandes áreas de tierra para otros propósitos. Por ejemplo, si los niveles de producción de cereales de 1950 prevalecieran todavía en el año 2000, en vez de 600 millones de hectáreas que se usaban para la producción, hubiéramos necesitado casi 1800 millones de hectáreas de tierra de la misma calidad para producir la cosecha mundial actual (Fig. 1), tierra que generalmente no ha estado disponible, especialmente en la sobrepoblada Asia. Además, si en la producción agrícola se hubiera incorporado tierra más frágil, desde el punto de vista ambiental, el impacto en la erosión del suelo, la pérdida de bosques, praderas y biodiversidad, así como la extinción de especies silvestres, habría sido enorme.

Le ha tomado a la humanidad entre 10 y 12 milenios aumentar la producción de alimentos a los niveles actuales de aproximadamente 5 000 millones de toneladas por año. Para el año 2020, no solo tendremos que reproducir la totalidad de la cosecha actual cada año, sino que tendremos que aumentarla en 40% o 50%. Esto no puede hacerse a menos que los agricultores en todo el mundo tengan acceso a métodos de producción de alto rendimiento y a los avances biotecnológicos, actualmente disponibles, que ofrecen grandes promesas para mejorar el potencial de rendimiento, la confiabilidad en el rendimiento y la calidad nutricional de nuestras cosechas alimenticias, así como para mejorar la salud humana en general.



**Figura 1.** Producción mundial de cereales, extensión de tierra economizada mediante uso de tecnología mejorada, 1950 – 1998.

### La revolución verde de Asia

El gran adelanto en la producción de trigo y arroz en Asia a mediados de los años 60, que se conoce como la Revolución Verde, simbolizó el proceso del empleo de las ciencias agrícolas para desarrollar técnicas modernas para el Tercer Mundo. Esto se inició en México, con la revolución “silenciosa” del trigo, a finales de los años 50. Durante los decenios de los 60 y 70, India, Pakistán y Filipinas llamaron la atención mundial por su progreso agrícola (Cuadro 1)

**Cuadro 1.** Crecimiento en la producción de arroz y trigo, en el Sur de Asia y regiones asiáticas en desarrollo.

Región	1961	1970	1980	1990	2000	Aumento (%) 1961-2000
<b>Sur de Asia<sup>3</sup></b>						
Arroz, beneficiado	49	58	74	100	121	+147
Trigo	15	28	44	66	100	+567
<b>Regiones asiáticas en desarrollo<sup>4</sup></b>						
Arroz, molido	122	183	233	311	357	+193
Trigo	44	51	128	202	232	+427

Fuente: FAOSTAT, Nov. 2001.

<sup>3</sup> El Sur de Asia incluye Bangladesh, Bután, India, Nepal, Pakistán y Sri Lanka.

<sup>4</sup> Regiones asiáticas en desarrollo incluye todos los países en vías de desarrollo desde Turquía en Asia Occidental hasta China en Asia Oriental. Fuente: FAOSTAT, Nov. 2001.

Desde 1980, China ha sido la principal protagonista del éxito alimentario de Asia, no sólo porque el aumento en la productividad permitió incrementar el suministro total de alimentos, sino también por su éxito en una distribución más equitativa de estos alimentos entre los segmentos pobres de la población. Los éxitos del desarrollo agrícola y rural de China han facilitado muchísimo su rápido progreso industrial y urbano. De hecho, en general, la agricultura en las regiones asiáticas en desarrollo ha logrado grandes avances económicos desde la crisis alimentaria de los años 60. Aunque la vida ha mejorado para la mayoría de los asiáticos de las zonas rurales, cientos de millones todavía viven en la pobreza y con niveles inferiores de salud y educación con respecto a aquellos que viven en las zonas urbanas.

Según la FAO, en los últimos cuatro decenios, el área bajo riego en las regiones asiáticas en desarrollo ha aumentado más del doble, hasta llegar a 176 millo-

nes de hectáreas; el consumo de fertilizantes ha aumentado más de 30 veces y el uso de tractores ha crecido de 200 000 unidades a 4,6 millones (Cuadro 2).

A pesar de los éxitos de los pequeños agricultores asiáticos en la aplicación de las tecnologías de la Revolución Verde para triplicar la producción de cereales desde 1961, la batalla para garantizar alimento a millones de personas que viven en la miseria, está muy lejos de alcanzar la victoria, especialmente en el sur de Asia. Una comparación de China e India ilustra este aspecto, pues aunque un aumento en la producción de alimentos es necesario, no es suficiente por sí mismo para alcanzar la seguridad alimentaria (Cuadro 3). Grandes cantidades de granos se han acumulado en India y China; no obstante, en India cientos de millones de personas padecen hambre por la falta de poder adquisitivo para comprar comida, mientras que China continúa haciendo grandes logros para eliminar el hambre.

**Cuadro 2.** Cambios en los factores de producción en las regiones asiáticas en desarrollo.

	Variedades modernas		Riego (millones ha)	Uso de fertilizantes (millones de t)	Tractores (millones)
	Trigo (millones ha / % de área)	Arroz (millones ha / % de área)			
1961	0 / 0%	0 / 0%	87	2	0,2
1970	14 / 20%	15 / 20%	106	10	0,5
1980	39 / 49%	55 / 43%	129	29	2,0
1990	60 / 70%	85 / 65%	158	54	3,4
1998	70 / 84%	100 / 74%	176	70	4,6

Fuentes: FAOSATAT 2001, datos de impacto CIMMYT e IRRI, Cálculos de los autores.

**Cuadro 3.** Indicadores de desarrollo socioeconómico en China e India.

	China	India
Población en 1961 (millones)	669	452
Población en 2000 (millones)	1 290	1 016
Crecimiento demográfico, 1990-1999, (%/año)	1,1	1,8
PIB per cápita, (US\$), 1999	780	440
Porcentaje en agricultura, 1995	47	64
Pobreza, (% poblac. con menos de \$1 al día), 1984-1999	4,6	35
Desnutrición infantil, (% con falta de peso), 1993-1999	9	45
Población analfabeta (% mayores de 15 años), 1995	16	45

Fuente: Atlas del Banco Mundial 2001, FAOSTAT 2001.

El Profesor Amartya Sen, galardonado con el Premio Nobel de Economía, atribuye el éxito que ha tenido China con respecto a India en lograr un crecimiento económico mejor distribuido y reducir la pobreza, a la prioridad que ha dado el gobierno de China a la inversión en educación rural y servicios de salud. Casi el 85% de la población de China sabe leer y escribir, mientras que solo el 55% de la población de India puede hacerlo. India tiene un 45% de su población viviendo bajo la línea de pobreza, mientras que China solamente reporta un 5%. Según informes, sólo un 9% de los niños chinos sufren de desnutrición, lo cual contrasta con un 35% en India. Con una población rural más sana y mejor educada, la economía de China ha podido crecer casi dos veces más rápido que la economía de India en los últimos dos decenios. Actualmente, China tiene un ingreso per cápita que es un 77% más alto que el de India.

### **La agricultura africana todavía en crisis**

Más que en cualquier otra región, la producción de alimentos en el Sub Sahara en Africa sigue en crisis. En esta región no se dio la Revolución Verde. Las altas tasas de crecimiento demográfico y la poca aplicación de tecnologías agrícolas mejoradas han ocasionado un serio déficit alimentario y un deterioro en la nutrición de la población, especialmente entre los sectores más pobres de las zonas rurales. Aunque recientemente ha habido señales de que la producción alimentaria en manos de los minifundistas está empezando a mejorar, su recuperación todavía es muy frágil.

La pobreza extrema en el Sub Sahara de Africa, los suelos pobres, la precipitación pluvial incierta, las presiones de una población en crecimiento, los patrones cambiantes en la tenencia de tierras y ganado, los disturbios políticos y sociales, la escasez de ingenieros agrónomos capacitados y las debilidades en la investigación y los sistemas de transferencia de tecnología, contribuyen a hacer la tarea del desarrollo agrícola más difícil. A pesar de estos grandes retos para el desarrollo, incluyendo el SIDA, los elementos para el desarrollo agrícola que funcionaron en América Latina y Asia, tales como fertilizantes, mejores semillas y prácticas agronómicas, también funcionarán en Africa.

En gran medida, la crisis alimentaria en Africa es el resultado del abandono en que han tenido los líderes políticos a la agricultura durante muchos años. Aunque la agricultura brinda el sustento al 70 - 85%

de la población de la mayoría de los países africanos, el desarrollo agrícola y rural no ha sido prioritario. Las inversiones en los sistemas de distribución y mercado y en la investigación y educación agrícolas son tristemente inadecuadas. Además, muchos gobiernos buscaban y siguen buscando una política para proporcionar alimento barato a los habitantes urbanos, políticamente volátiles, a costa de los incentivos de producción para los agricultores.

Gran parte de los ambientes africanos, especialmente los bosques y las áreas de transición, son ecosistemas frágiles, en los cuales los suelos ácidos, severamente erosionados y desgastados, pierden rápidamente su fertilidad bajo sistemas de cultivo continuo. Tradicionalmente, el sistema de cultivo de quema y roza, con mudanza de sitio y patrones de siembra complejos, constituían sistemas de producción de alimentos de bajo rendimiento pero estables. El aumento de la población y de los requerimientos alimentarios ha llevado a acortar los períodos de recuperación natural de matorral y barbecho, que se usaban anteriormente para restaurar la fertilidad de los suelos y han obligado a los agricultores a moverse hacia las tierras marginales. Con el aumento del sistema de cultivo continuo en un mismo lugar, la materia orgánica y el nitrógeno se han agotado, mientras que el fósforo y otras reservas de nutrimentos se están agotando lenta pero constantemente. Esto ha tenido consecuencias desastrosas para el ambiente, tales como la grave erosión e invasión de malezas, lo cual conduce al empobrecimiento de la vegetación por clímax de fuego.

Como resultado de estas relaciones económicas desfavorables, en el Sub Sahara de Africa sólo se usan aproximadamente 10 kg de fertilizantes por hectárea de tierra fértil, en comparación con tasas entre 9 y 23 veces más altas utilizadas en otras regiones (Cuadro 4). Debido al uso de bajos niveles de fertilizantes, ha ocurrido un agotamiento masivo de nutrimentos en casi todos los países. Los cálculos indican que en los últimos 30 años, los suelos en el Sub Sahara de Africa han sufrido una pérdida neta de nutrimentos de 600 kg de nitrógeno, 120 kg de fósforo y 450 kg de potasio por hectárea. Salvo que los gobiernos africanos, apoyados por la comunidad internacional, enfrenten estos graves problemas, el deterioro de la productividad agrícola socavará seriamente las bases del crecimiento económico en Africa. Sin más fertilizantes químicos, la agricultura del Africa del Sub Sahara está destinada al fracaso.

**Cuadro 4.** Uso total de fertilizantes por hectárea de tierra cultivable, en 1999.

Región	Consumo total de fertilizantes (miles t)	Tierra cultivable (miles ha)	Uso de fertilizantes (kg/ha)
Sub Sahara de Africa	1 320	138 799	10
Regiones asiáticas en desarrollo	74 079	448 972	165
Unión Europea (15)	17 340	74 470	233
TLC-NA <sup>5</sup>	24 265	247 310	99
América Latina <sup>6</sup>	10 405	120 396	86

Fuente: FAOSTAT, julio 2001.

En 1986 trabajamos en proyectos de transferencia tecnológica para la producción de alimentos en el Sub Sahara de Africa, auspiciados por la Fundación Nippon y su presidente, Ryoichi Sasakawa<sup>†</sup> y apoyados con mucho entusiasmo por el ex presidente de Estados Unidos Jimmy Carter. Nuestra iniciativa conjunta, conocida como el programa Sasakawa Mundial 2000 (SG 2000) ha funcionado a través de los años en 14 países y actualmente funciona en 11 países africanos. El trabajo del SG 2000 en conjunto con los servicios nacionales de extensión ha ayudado a los pequeños productores a cultivar más de un millón de parcelas demostrativas, que varían en tamaño, de 1000 - 5000 m<sup>2</sup>. En estas parcelas, principalmente, se ha experimentado con tecnología mejorada para el maíz, aunque también se ha trabajado con sorgo, trigo, yuca, arroz, soya, papa y leguminosas de grano.

Un componente muy interesante ha sido el fomento del maíz con proteína de calidad, el cual tiene niveles sustancialmente más altos de dos aminoácidos esenciales—lisina y triptófano. Este maíz tiene el potencial de mejorar considerablemente la nutrición, tanto animal como humana, cuando se consume directamente. Primero en Ghana, y ahora diseminado en todos los países del proyecto SG 2000, las variedades de alto rendimiento de maíz con proteína de calidad se cultivan en aproximadamente 250 000 ha, y esta área probablemente se duplique en los próximos años. Este maíz es especialmente importante para los africanos pobres, con dietas deficientes en proteínas. Los estudios sobre alimentación infantil han mostrado una mejora significativa en la salud de los niños cuando se usa el maíz con proteína de calidad como alimento al finalizar la lactancia materna.

Los paquetes tecnológicos para la producción de cultivos mejorados, recomendados por los programas conjuntos del Ministerio de Agricultura y el SG 2000 incluyen: a) el uso de las mejores variedades comerciales o híbridos existentes; b) una adecuada preparación de la tierra y de la siembra para lograr el establecimiento del cultivo; c) la aplicación apropiada de los fertilizantes adecuados y, cuando se necesite, de productos para la protección del cultivo; d) control oportuno de malezas; y e) conservación de la humedad y mejor uso del agua, si se utiliza riego. También trabajamos con las familias de los agricultores participantes para mejorar el almacenamiento de los productos agrícolas en las fincas, para reducir las pérdidas de granos por infestación y daños causados por plagas y permitir a los agricultores mantener el producto por más tiempo, con el fin de aprovechar los períodos en los cuales los precios les sean más favorables.

Prácticamente sin excepción, las parcelas de demostración cultivadas por los agricultores han tenido rendimientos entre dos y cuatro veces más altos que los que comúnmente obtenían con los métodos de producción tradicionales. Se han organizado miles de días de campo, a los que han asistido cientos de miles de agricultores, para demostrar y explicar los componentes de los paquetes de producción. En las áreas donde operan los proyectos, el entusiasmo de los agricultores es grande y los líderes políticos se están interesando bastante en el programa. Así, la disponibilidad de la tecnología, actualmente no es el factor limitante para el crecimiento de la productividad en la agricultura minifundista de Africa. Puesto que la tecnología ya está disponible, los agricultores pueden fácilmente duplicar y triplicar el rendimiento de la ma-

<sup>5</sup> Tratado de Libre Comercio de Norte América (Canadá, México, Estados Unidos).

<sup>6</sup> Tratado de Integración de América Latina (15 países).

yoría de sus cultivos alimenticios, forrajes y de fibra. Ellos no adoptan esta tecnología porque siguen atrapados en un círculo de costo/precio, tanto de los insumos como de los productos.

En Africa, el precio de los fertilizantes puestos en la finca del productor, es a menudo el doble y a veces el triple de lo que pagaría un agricultor en un país industrializado, debido en gran parte a los altos costos de transporte. Pero el precio que estos agricultores reciben por sus productos, comprados en la finca, a menudo es tan bajo que llega al 50% del precio del mercado en los centros urbanos. Una infraestructura inadecuada en el Sub Sahara de Africa, especialmente de caminos, transporte, agua potable y electricidad, representa un obstáculo importante para el desarrollo rural y económico. En particular, la infraestructura del transporte en Africa es inadecuada (Cuadro 5). La mayoría de la producción agrícola en Africa se genera a lo largo de una amplia red de veredas, vías y caminos vecinales, en los cuales el modo de transporte más común es “las piernas, cabezas y espaldas de las mujeres”. De hecho, la mayor parte del tiempo de los miembros de la familia es dedicado al transporte de los productos al mercado y a la búsqueda de agua y leña.

Se necesita un transporte eficiente para facilitar la producción y permitir a los agricultores llevar sus productos a los mercados; la agricultura intensiva es particularmente dependiente del acceso mediante vehículos. Además, las mejoras en los sistemas de vías de transporte reducirían el aislamiento rural, lo cual ayudaría a eliminar los rencores entre tribus y facilitaría el establecimiento de escuelas y clínicas rurales en áreas donde los educadores y los profesionales en salud, hasta ahora, han sido renuentes a establecerse. Encontrar el modo de brindar una infraestructura eficaz y eficiente en el Sub Sahara de Africa subyace todos los demás esfuerzos para reducir la pobreza, mejorar la salud y la educación, alcanzar la paz y la prosperidad.

### América Latina y el Caribe

El crecimiento y desarrollo de la agricultura en América Latina y el Caribe se caracterizan por grandes contrastes, con claros ganadores y perdedores. En general, el crecimiento agrícola promedió durante el decenio de los 90 fue de 3% anual, pero este crecimiento fue concentrado y dispar. Entre los ganadores están aquellos agricultores que producen para los mercados de exportación. Las exportaciones de cultivos tradicionales, tales como cereales, café y carne han

mostrado un crecimiento constante, y las exportaciones de productos no tradicionales, tales como frutas y vegetales, han experimentado un crecimiento rápido.

**Cuadro 5.** Extensión (km) de caminos pavimentados por millón de personas en varios países.

País	km
Estados Unidos	20 987
Francia	12 673
Japón	6 584
Zimbabwe	1 586
Sudáfrica	1 402
Brasil	1 064
India	1 004
China	803
Guinea	637
Ghana	494
Nigeria	230
Mozambique	141
Tanzania	114
Uganda	94
Etiopía	66

Fuente: Enciclopedia Británica (2001), Anuario.

Argentina y Brasil han expandido muchísimo su producción de granos básicos, que se cultivan cada vez más en grandes fincas comerciales (Cuadro 6). Argentina ha expandido sus exportaciones de cereales y soya. Brasil, por otro lado, ha importado maíz y trigo, mientras que sus exportaciones de soya han aumentado. Asimismo, se ha destinado un porcentaje mayor de la producción de cereales a la exportación. Por otra parte, Chile ha reducido el área cultivada con granos (aunque los rendimientos han aumentado considerablemente) y ha expandido el área de producción de cultivos de alto valor, como las frutas y los vegetales, destinados a la exportación directa o para el procesamiento agroindustrial y su posterior exportación. Una parte importante de estas fincas no son necesariamente muy grandes, pero tienen acceso a los mercados externos, la tecnología y el crédito.

Al otro lado del espectro hay varios millones de pequeños agricultores latinoamericanos atrapados todavía en una agricultura de bajo rendimiento y sumidos en la pobreza. El Banco Mundial ha calculado que hay unos 50 millones de agricultores en esta categoría, de los cuales 30 millones son indígenas pobres que viven en áreas a gran altitud, en las laderas de las coli-

**Cuadro 6.** Producción de maíz, soya y trigo en Argentina y Brasil.

	Producción (miles t)			Aumento (%)
	1980	1990	2000	1980-2000
Argentina				
Maíz	6 400	5 400	16 817	163
Soya	3 500	10 700	20 207	177
Trigo	7 780	10 992	16 147	108
Brasil				
Maíz	20 373	21 341	31 879	56
Soya	15 156	19 888	32 735	116
Trigo	2 701	3 093	1 662	-32

Fuente: FAOSTAT, Febrero 2002.

nas y en áreas propensas a la sequía. Estos agricultores producen principalmente para el mercado local o para subsistencia. Su productividad no ha seguido el mismo ritmo de otros sectores de la economía y muchos de ellos ven en la migración su única alternativa para escapar de la pobreza. Pero esto no necesariamente debe ser así.

A pesar de los altos niveles de urbanización en América Latina (un 75% en general) pero con variaciones significativas entre países, las economías rurales tienen una reserva sustancial de productividad por explotar, lo cual beneficiaría sustancialmente la industrialización y otros sectores económicos.

Transformar el sector de minifundistas en América Latina es un reto importante al que se enfrentan los profesionales en agricultura y las agencias de fomento. Aunque el sector privado también puede ayudar en esta tarea, es ingenuo esperar que ésta sea la fuerza impulsora. Por el contrario, la tarea de diseñar las políticas y los programas necesarios para insertar a estos productores marginales en la corriente principal de la evolución agrícola actual recae más en el sector público. Será necesario la inversión en investigación y generación de tecnología e infraestructura rural (especialmente transporte, energía y riego), educación y desarrollo de instituciones de mercadeo y crédito.

A menos que se invierta el dualismo creciente de la agricultura latinoamericana, comercial *versus* subsistencia, en los próximos decenios se podrían desatar nuevos movimientos de fuerzas sociales y políticas desestabilizadoras. El tráfico ilegal de drogas y varios movimientos guerrilleros encuentran terreno fértil entre la población rural desposeída.

Finalmente, cuando los agricultores de pocos recursos, en su lucha por la supervivencia, se ven fuerza-

dos a emplear prácticas de producción que agotan los nutrimentos del suelo y a cultivar tierras que deberían dejarse en barbecho, se desata un círculo vicioso de erosión de los suelos y deforestación, lo cual puede tener enormes costos económicos, sociales y ambientales a largo plazo. Aumentar la productividad, de manera sostenible, en las tierras más aptas para la producción agrícola es nuestra esperanza para reducir la pobreza rural y así proteger los suelos, los recursos hídricos, los bosques, la vida silvestre y la biodiversidad.

No olvidemos que América Latina contiene aproximadamente un 20% de la tierra potencialmente arable del mundo, casi un 50% de los bosques tropicales, y cerca de un tercio de los recursos de agua dulce renovables. Le debemos a las futuras generaciones una buena administración de estos recursos.

### Retos de la agricultura en el siglo XXI

La mayoría de los expertos, concuerdan, en que la población mundial aumentará de los 6000 millones de habitantes actuales a por lo menos 7600 millones, para el año 2020. Es muy probable que la demanda de cereales, los cuales proporcionan el 70% de nuestro suministro de alimentos, aumentará entre un 40 y un 50%. El uso de los cereales para alimento animal, impulsado por la demanda creciente de carne y leche, constituirá un 35% del aumento en la demanda de estos cultivos entre 1997 y 2020 (Pinstrup-Andersen y Pandya-Lorch 2001). En los países en desarrollo la demanda de maíz para la nutrición animal irá a la cabeza de la de otros cultivos de cereales.

El crecimiento demográfico, la urbanización y los ingresos crecientes están favoreciendo un aumento masivo en la demanda de productos animales (Pinstrup-Andersen y Pandya-Lorch 2001).



Para el año 2020, las personas en los países en desarrollo probablemente consumirán 100 millones de toneladas más de carne y 223 millones de toneladas más de leche de lo que hacían en 1993 (Cuadro 7). La demanda de pollo será la que tenga el mayor aumento. Para el año 2020, China se convertirá en el principal productor de carne e India se convertirá en el mayor productor de leche a nivel mundial.

A nivel mundial, el subsector ganadero se hará cada vez más importante dentro del sector agropecuario. Sin embargo, los aumentos en el suministro de productos ganaderos provienen principalmente de la producción industrial. Esto se debe al estado subdesarrollado de los sistemas tradicionales de los pequeños ganaderos. No obstante, con políticas apropiadas que promuevan mejoras en la salud y nutrición animal, las recompensas de un rápido crecimiento del sector ganadero podrían beneficiar a los pequeños productores.

En China, el segundo mayor productor de maíz, donde casi el 80% del grano se utiliza para la alimentación de ganado, el maíz con proteína de calidad puede mejorar significativamente las tasas de conversión alimentaria, especialmente para la producción porcina. China se lanzó a la investigación sobre maíz con proteína de calidad a mediados de los 70, bajo el liderazgo del Profesor Li Ching-Hsiung<sup>†</sup>, de CAAS, y esta investigación ha continuado hasta el presente por parte de una nueva generación de mejoradores en CAAS y nueve centros provinciales de investigación. Durante los años 90, se liberaron media docena de híbridos de maíz con proteína de calidad y actualmente, en conjunto, se cultivan aproximadamente 350 000 - 400 000 ha. Nos motiva mucho el trabajo que actualmente se está realizando en el condado Longli, en la provincia de Guizhou, en el sur de China. Allí se está usando maíz con proteína de calidad como parte de un programa de reducción de la pobreza rural, impulsado por los servicios de extensión local. Los pequeños agricultores que participan están sembrando híbridos de este tipo de maíz y combinan granos de maíz con proteína de calidad con salvado de arroz y "cortes" verdes para alimentar de 1 a 10 cerdos. Esta mejora en la nutrición significa mayor ganancia de peso de los animales, lo cual genera más dinero para los pequeños agricultores.

**Agotamiento de recursos terrestres.** El área global de tierra cultivable y, para la mayoría de las regiones, el potencial de expansión futura son limitados. Esto es particularmente cierto para Asia y Europa, que están densamente pobladas. Solo en el Sub Sahara de Afri-

**Cuadro 7.** Consumo de carne, real y proyectado, por región.

Región	Consumo total de carne (millones t)		
	1983	1993	2020
China	16	38	85
Otros países en Asia Oriental	1	3	8
India	3	4	8
Otros países del sur de Asia	1	2	5
Asia Suroriental	4	7	16
América Latina	15	21	39
Asia Occidental / Norte de África	5	6	15
Sub Sahara de Africa	4	5	12
Países en desarrollo	50	87	188
Países industrializados	88	97	115
Mundial	139	184	303

Fuente: IFPRI (2001).

ca y en América del Sur existen todavía grandes terrenos sin explotar, y solamente parte de esta tierra eventualmente habrá de utilizarse en la producción agrícola. En la populosa Asia, hogar de más de la mitad de los habitantes del mundo, queda muy poca tierra sin cultivar. De hecho, parte de la tierra que actualmente está en producción, especialmente en el sur de Asia, debe dejarse de cultivar por la alta susceptibilidad a la erosión del suelo.

O sea, la mayoría de los aumentos en el suministro mundial de alimentos deberán venir de tierras agrícolas que ya están en producción. De hecho, más del 85% del crecimiento total en la producción de cereales debe venir de rendimientos crecientes en tierras que ya están produciendo (Pinstrup-Andersen y Pandya-Lorch 2001). Dichos aumentos en la productividad requerirán variedades con un potencial genético de rendimiento más alto y una mayor tolerancia a la sequía, los insectos y las enfermedades. Para lograr estas ventajas genéticas, se necesitarán avances tanto en la investigación convencional como en biotecnología. En el manejo de cultivos, podemos esperar mejoras en la productividad de los suelos y en la conservación del agua, la labranza, la fertilización, el control de malezas y plagas y el manejo de poscosecha.

El poner las tierras del mundo, potencialmente cultivables y que aún están sin explotar, al servicio de la producción agrícola representa un reto enorme. El Cerrado brasileño, o sabana ácida, es un buen ejemplo. El Cerrado es una vasta extensión de praderas, principalmente llanas con pequeñas ondulaciones con

ecotipos de árboles atrofiados y matorrales de semiclímax inducidos por incendios en algunas áreas. Su superficie total es de aproximadamente 205 millones de hectáreas, casi equivalente al área combinada de España, Francia, Italia y Gran Bretaña. Se extiende desde la latitud 24° hasta 4° S y varía en elevación de 500 a 1800, con una precipitación unimodal (de octubre a marzo) que varía de 900 a 1800 mm anuales.

El Cerrado central, con 175 millones de hectáreas en un bloque continuo, forma la mayoría de las tierras de la sabana. Aproximadamente 112 millones de hectáreas de este bloque se consideran potencialmente cultivables. La mayor parte del resto tiene valor potencial para plantaciones forestales y pastizales mejorados para la producción animal. Los suelos de esta área se componen principalmente de varios tipos de greda profunda y latosoles de greda arcillosa (oxisoles, ultisoles), con buenas propiedades físicas, pero altamente lixiviados de nutrientes. Son muy ácidos, tienen niveles tóxicos de aluminio soluble (y de manganeso en algunas áreas), y la mayoría del fósforo fijado no está disponible.

Hasta hace 50 años, el Cerrado casi no estaba habitado y se consideraba de poco valor para la agricultura. Se practicaba alguna agricultura en franjas de suelos aluviales, a lo largo de las márgenes de riachuelos, que eran menos ácidos y donde había una acumulación de nutrientes. Además, había alguna producción pecuaria, pero la flora natural de sabana y arbustos (poco digerible y de baja calidad nutritiva) daba como resultado una producción con baja capacidad de carga o sustentación.

Actualmente, está en marcha una revolución agrícola en el Cerrado, como resultado de un largo proceso de investigación y desarrollo. Durante los años 30 y 40, varias facultades de agronomía y estaciones experimentales del gobierno provincial y federal, realizaron investigaciones que permitieron obtener información sobre los suelos y la agronomía, así como sobre desarrollo de germoplasma de plantas tolerantes al aluminio. Para los años 60, se estaba intentando cultivar algunas partes del Cerrado a escala comercial, conforme se aplicaban modificaciones a los suelos, encalado para corregir la acidez y la toxicidad causada por aluminio, combinado con NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), azufre y fertilizantes con micronutrientes. Se desarrolló una nueva generación de variedades de cultivos (pastos forrajeros, arroz, soya, maíz y trigo) con tolerancia a la toxicidad causada por el aluminio. Desgraciadamente, este primer grupo de variedades,

aunque tolerantes a la toxicidad por aluminio, tenían un bajo potencial de rendimiento de granos y otros defectos, especialmente susceptibilidad a varias enfermedades.

La creación en 1973 de la Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria (EMBRAPA), la corporación nacional de investigación agrícola de Brasil, dio un mayor impulso a la investigación sobre el Cerrado. Los científicos de EMBRAPA iniciaron un programa sistemático de investigación interdisciplinaria, que integraba el conocimiento anterior y generaba nueva información y productos mediante la investigación. Gran parte de la investigación sobre la fertilidad y toxicidad del suelo y la investigación agronómica interdisciplinaria se concentró en el Centro de Pesquisa Agropecuaria del Cerrado (CPAC), ubicado cerca de Brasilia, mientras que la investigación sobre reproducción de variedades mejoradas de cultivos resistentes a enfermedades e insectos plaga, se llevó a cabo en varios centros nacionales de investigación sobre productos básicos de EMBRAPA.

Durante los años 80, EMBRAPA y varios centros internacionales de investigación agrícola (especialmente CIMMYT y CIAT) empezaron a colaborar más intensamente para desarrollar una tercera generación de variedades de cultivos que combinaran tolerancia a la toxicidad del aluminio con mayor rendimiento, mayor resistencia a las principales enfermedades y mejor tipo agronómico. Esta nueva generación de variedades mejoradas de cultivos está llegando ahora a las fincas de los agricultores. Además, se puso al alcance de éstos mejores sistemas de manejo de cultivos, que utilizan la rotación y una labranza mínima que deja los residuos de cosecha sobre el campo, para facilitar la penetración de la humedad y reducir la escorrenría y la erosión.

Todavía hay muchos retos para la investigación sobre la situación actual de la producción comercial de cultivos en el Cerrado. Los agricultores, tanto individualmente como en colaboración con los científicos, están haciendo muchos avances. Aún hay mucho por hacer y se necesita más investigación, tanto por parte de organizaciones públicas como del sector privado. La infraestructura en la parte norte del Matto Grosso, Cerrado es insuficiente y el costo del transporte para llevar los productos desde donde se producen hasta los mercados es tal, que consume la mayoría de lo que normalmente llegaría a los bolsillos de los agricultores como ingresos. En otras palabras, hay un margen muy pequeño de ganancia para los agricultores.

Se necesita más investigación para obtener recomendaciones más exactas sobre fertilizantes para diferentes cultivos en diferentes áreas. Puesto que la labranza cero o la labranza mínima se está volviendo una práctica común, o sea que los desechos o residuos del cultivo se dejan en la superficie, será absolutamente necesario buscar mejores rotaciones de cultivos que reduzcan la infección foliar con enfermedades ocasionadas por inóculo en los residuos de la cosecha anterior o trasanterior.

Actualmente, hay buenas variedades con tolerancia al aluminio, en cultivos como arroz, maíz, soya, trigo y varias especies de gramíneas para pastoreo, incluyendo *Panicum*, *Digitaria decumbens* y *Brachyaria*. El triticale es un cereal sintético interesante que tiene un nivel muy alto de tolerancia al aluminio. Desdichadamente, hasta el momento, en el Cerrado no ha tenido gran uso para forraje o para la producción de granos.

El Dr. Jamil Macedo de EMBRAPA informó que en 1990 se cultivaron aproximadamente 10 millones ha de cultivos de secano, con un rendimiento promedio de 2 t/ha y una producción total de 20 millones toneladas (Cuadro 8). El área bajo riego todavía es relativamente pequeña de sólo 300 000 ha, con una producción promedio de 3 t/ha y una producción total de 900 000 toneladas. También hay 35 millones de hectáreas de pastizales mejorados, con una producción anual de carne de 1,7 millones toneladas.

**Cuadro 8.** Producción de cereales y carne en el Cerrado, Brasil en 1990.

Uso de la tierra	Superficie (millones ha)	Productividad (t/ha/año)	Producción (millones t)
Cultivos de secano	10,0	2,0	20,0
Cultivos con riego	0,3	3,0	0,9
Producción de carne (pastizales)	35,0	0,05	1,7
Total	45,3		22,6

Fuente: Perspectivas para el uso racional de El Cerrado brasileño para la producción de alimentos. Dr. Jamil Macedo, CPAC, EMBRAPA, 1995.

Macedo señala que si la tecnología mejorada disponible en 1995 se utilizara ahora en los 20 millones de hectáreas de tierra potencialmente arable de secano en el Cerrado, sería posible que los agricultores obtuvieran 3,2 t/ha de rendimiento promedio y 64 millones de toneladas de producción. También indica que el área bajo riego puede aumentarse a 5 millones de hectáreas, con una producción promedio esperada de 6

t/ha, para una producción total de la cosecha de 30 millones de toneladas. La producción de carne también podría aumentarse cuatro veces con pastizales mejorados. En total, la producción de alimentos podría aumentar de 22,6 millones a 98 millones de toneladas, mediante la adopción generalizada de la tecnología mejorada ya disponible (Cuadro 9).

**Cuadro 9.** Producción potencial de alimentos si la tecnología disponible en 1995 se adoptara en el área del Cerrado que ya está en producción.

Uso de la tierra	Superficie (millones ha)	Productividad (t/ha/año)	Producción (millones t)
Cosechas (de secano)	20,0	3,2	64
Cosechas (con riego)	5,0	6,0	30
Carne (pastizales)	20,0	0,2	4
Total	45,0		98

Fuente: J. Macedo CPAC, EMBRAPA (1995).

Si los precios internacionales de los productos agropecuarios ofrecen suficientes incentivos económicos, podemos esperar una rápida difusión de la tecnología mejorada en el Cerrado. Sin embargo, los serios problemas de infraestructura, especialmente el transporte para acarrear estos productos al mercado, sobre todo para los mercados de exportación, deben resolverse. Se necesita una gran inversión, alguna de la cual ya se está haciendo, para desarrollar sistemas integrales de transporte (camino, ferrocarriles y barcasas fluviales).

La apertura del Cerrado ayudará a garantizar que el suministro mundial de alimentos sea el adecuado en los próximos dos decenios, si continuamos usando políticas inteligentes para estimular la producción. Eventualmente, la tecnología similar a la que hace que el Cerrado sea productivo llegará a los Llanos en Colombia y Venezuela y, ojalá, a los países del centro y sur de África, donde tienen problemas parecidos con los suelos.

**Escasez creciente de agua.** Aunque el agua cubre más o menos el 70% de la superficie de la Tierra, solo aproximadamente un 2,5% de ella es agua dulce, y la mayoría está congelada en los casquetes polares de Antártica y Groenlandia, en la humedad del suelo o en acuíferos profundos que no son fácilmente accesibles para el uso humano. De hecho, menos de 1% del agua dulce del mundo, la que se encuentra en los lagos, ríos, embalses y acuíferos subterráneos poco profundos para ser explotados económicamente, está fá-

ilmente disponible para el consumo humano directo (Organización Meteorológica Mundial 1997). La agricultura con riego, que demanda el 70% de la extracción de agua en el mundo, cubre aproximadamente un 17% de las tierras cultivadas (aproximadamente 275 millones de hectáreas) que producen un 40% del total de alimentos.

La rápida expansión del uso del riego a nivel mundial y de los usos urbanos e industriales del agua ha llevado a una escasez creciente de este líquido. La Evaluación Completa de los Recursos de Agua Dulce del Mundo de la ONU, realizada en 1997, estima que aproximadamente un tercio de la población mundial vive en países que están experimentando un estrés moderado o alto por el agua, lo cual es ocasionado por la demanda creciente de una población en aumento y de mayor actividad humana. En ese documento se señala que, para el año 2025, casi dos terceras partes de la población del mundo podría estar bajo condiciones de estrés por agua.

En muchos de los esquemas de riego, especialmente en los países asiáticos en desarrollo, no se hizo la inversión adecuada en sistemas de drenaje para prevenir que los niveles freáticos subieran mucho y para lavar las sales que suben a la superficie de nuevo hacia abajo a través del perfil del suelo. Todos conocemos las consecuencias: una salinización severa en muchos suelos irrigados, especialmente en las áreas más secas y anegamiento de los suelos irrigados en las áreas más húmedas. En particular, muchos esquemas de riego en Asia, que constituyen casi dos tercios del área mundial irrigada, se ven seriamente afectados por ambos problemas. El resultado es que la mayoría de los fondos que se destinan al riego terminan siendo usados para gastos de mantenimiento y arreglos provisionales de los sistemas mal diseñados, en vez de para nuevos proyectos de riego. En los esquemas de riego futuros, el drenaje de aguas y sistemas de eliminación deben presupuestarse desde el inicio del proyecto. Desgraciadamente, añadir estos costos al proyecto original a menudo ocasiona un rédito muy bajo sobre la inversión. La sociedad luego tendrá que decidir cuánto está dispuesta a subsidiar en el desarrollo de nuevos proyectos de riego.

Hay muchas tecnologías para mejorar la eficiencia del uso del agua. El agua residual puede tratarse y usarse para riego. Esta podría ser una fuente de agua especialmente importante para la agricultura periurbana, la cual está creciendo rápidamente alrededor de muchas de las megaciudades del mundo. El agua pue-

de suministrarse con mucha más eficiencia a las plantas y en formas que eviten el anegamiento y la salinización. El uso de nuevos cultivos que requieren menos agua (o variedades nuevas y mejoradas), junto con secuencias más eficientes de cultivos y siembra oportuna, pueden lograr ahorros significativos en el uso de este recurso.

Tecnologías ya probadas, tales como riego por goteo, que ahorra agua y reduce la salinidad del suelo, son adecuadas para áreas mucho más grandes que en las que actualmente se usa. Varios sistemas de riego de gran precisión también están por venir; estos suministrarán agua a las plantas sólo cuando la necesitan. También hay una variedad de sistemas de riego a pequeña escala mejorados y complementarios para aumentar la productividad de las áreas de secano, los cuales son muy prometedores para los pequeños agricultores.

Obviamente, debemos replantear nuestras actitudes sobre el agua y dejar de pensar en ella como un bien casi gratuito y un derecho dado por Dios. Es necesario fijar los precios del suministro de agua más cercanos a los costos reales, para mejorar la eficiencia de su uso. Los agricultores y quienes controlan el riego (y los consumidores urbanos) necesitarán incentivos para ahorrar agua. Además, el manejo de las redes de distribución de agua, excepto los canales primarios, debe descentralizarse y ponerse en manos de los agricultores.

Con el fin de incrementar la producción de alimentos para una población mundial en aumento, dentro de los parámetros de la disponibilidad probable de agua, la conclusión inevitable es que la humanidad en el siglo XXI deberá propiciar una "Revolución Azul" para complementar la llamada "Revolución Verde" del siglo XX. En la nueva Revolución Azul, la productividad del uso del agua debe estar acorde con la productividad del uso de la tierra. Nuevos conocimientos científicos y tecnológicos deben guiar este cambio.

### **Nuevas tecnologías para el mejoramiento de los cultivos**

Los investigadores en agricultura y los agricultores en todo el mundo se enfrentarán, durante los próximos 20 años, al reto de desarrollar y aplicar tecnologías que puedan aumentar la producción mundial de cereales entre 50 y 75%, y deben hacerlo de una manera económica y ambientalmente sostenible. Gran parte de los aumentos en la producción de granos será el

resultado de la aplicación de la tecnología que ya está disponible, pero que todavía no se utiliza al máximo. Pero también habrá nuevos avances tecnológicos logrados mediante la biotecnología, especialmente en el mejoramiento de plantas para aumentar la estabilidad del rendimiento y, ojalá, el potencial máximo del rendimiento genético.

Se necesita un constante mejoramiento genético de los cultivos alimenticios, mediante herramientas de investigación convencionales y de biotecnología, para subir el límite de rendimiento y para aumentar su estabilidad. Aunque las herramientas de investigación biotecnológica prometen mucho, también es importante reconocer que los métodos convencionales de reproducción de plantas continúan haciendo contribuciones significativas para mejorar la producción alimenticia y la nutrición. En el caso del arroz y el trigo, se están siguiendo tres estrategias diferentes, pero relacionadas, para aumentar el potencial de rendimiento genético máximo: los cambios en la arquitectura de las plantas, hibridación y una mayor utilización de los recursos genéticos (Rajaram y Borlaug 1996). Se han hecho progresos significativos en las tres áreas, aunque extender este impacto hasta las fincas de los agricultores, probablemente tome unos 10 o 12 años. IRRRI señala que el nuevo tipo de planta “super arroz”, junto con las siembras directas, podría aumentar el potencial de producción de este grano entre 20 y 25% (Khush 1995).

En el caso del trigo, las nuevas plantas con arquitectura similar a los “super arroses” (cabezas más grandes, más granos y menos vástagos) podría traer un aumento en el potencial de rendimiento de 10 a 15% (Rajaram y Borlaug 1997). La introducción de genes de especies silvestres relacionadas con el trigo cultivado, puede introducir fuentes importantes de resistencia a diversas causas de estrés biótico y abiótico y, tal vez, ofrecer un potencial de producción más alto, especialmente si los trigos transgénicos se usan como material precursor en la producción de trigos híbridos (Kazi y Hettel 1995).

El éxito del arroz híbrido en China (que actualmente se siembra en más del 50% del área irrigada) ha renovado el interés en el trigo híbrido, cuando la mayoría de la investigación se ha discontinuado por varias razones, principalmente por baja heterosis mientras se trata de explotar la esterilidad masculina citoplásmica, y por altos costos en la producción de semillas. Sin embargo, mejoras recientes en los agentes

químicos de hibridación, los avances en la biotecnología y el surgimiento de nuevos tipos de plantas de trigo, han hecho que la evaluación de los híbridos valga la pena. Con una mejor heterosis y un aumento en el relleno del grano, el límite de rendimiento de los nuevos genotipos de trigo podría ser entre un 25 y un 30% por encima de la base germoplásmica actual. Además, el híbrido triticale promete un potencial de rendimiento más alto que el trigo para algunas áreas y usos.

La producción de maíz realmente ha empezado a aumentar en los países asiáticos, especialmente en China. Actualmente, este cultivo tiene el rendimiento promedio más alto de todos los cereales en Asia, y mucho del potencial de rendimiento genético todavía no se ha explotado. Además, recientes desarrollos de variedades híbridas de alto rendimiento de maíz con proteína de alta calidad, logrados mediante el uso de métodos convencionales de mejoramiento de plantas, mejorarán la calidad nutritiva del grano, sin sacrificar el rendimiento. Estos logros de la investigación ofrecen importantes beneficios nutricionales para el ganado y los seres humanos. Con las herramientas biotecnológicas, es probable que en los próximos años veamos más mejoras en la calidad nutricional de los cereales.

El desarrollo reciente, por investigadores de la Universidad de Purdue, EE.UU., de variedades de sorgo de alto rendimiento e híbridos resistentes a la maleza parasítica hasta ahora incontrolable, *Striga* spp., es un avance de investigación importante para muchas áreas de Asia y Africa.

Cada día hay más evidencia de que existe la variación genética dentro de la mayoría de especies de cultivos de cereal para desarrollar genotipos que sean más eficientes en el uso del nitrógeno, el fósforo y otros nutrientes con respecto a los que hay disponibles en la actualidad en las mejores variedades e híbridos. Además, hay buena evidencia de que una mayor tolerancia al calor y a la sequía puede incorporarse en el germoplasma de alto rendimiento.

### **Tecnologías mejoradas para el manejo de cultivos**

La productividad de los cultivos depende del potencial de rendimiento de las variedades y del manejo del cultivo usado para mejorar la eficiencia de los insumos y productos. Las ganancias en productividad pueden lograrse durante todo el proceso: en la labranza, el uso del agua, la fertilización, el control de malezas y plagas y la cosecha.

Un ejemplo sobresaliente de la nueva tecnología

de la Revolución Verde y Azul en la producción de trigo con riego es el *sistema de cultivo en camas*, el cual tiene múltiples ventajas con relación a los sistemas de cultivo convencionales. La altura de las plantas y el hacinamiento se reducen, y como resultado se logra un aumento de 5 a 10% en el rendimiento y mejor calidad de los granos. El uso del agua se reduce entre 20 y 25%, un ahorro espectacular, y la eficiencia de insumos (fertilizantes y herbicidas) también mejora muchísimo (30%). Esta tecnología ya ha sido adoptada en el noroeste de México y su aceptación está aumentando en otros países, incluyendo Pakistán, India y China.

La labranza de conservación (cero labranza o labranza mínima) es otra tecnología de manejo de suelos y agua que se está diseminando rápidamente en muchas partes del mundo. La compañía Monsanto ha estimado que los agricultores usaron prácticas de labranza de conservación en 95 millones de hectáreas en el año 2000. Si se reduce o eliminan las operaciones de labranza, se puede reducir significativamente el tiempo de rotación en tierras donde se cultiva dos o tres veces al año, especialmente rotaciones como arroz/trigo y algodón/trigo. Esto permite mejorar el rendimiento y reducir los costos de producción. La labranza de conservación también controla las poblaciones de malezas y reduce muchísimo el tiempo que las familias minifundistas deben dedicar a esta agotadora labor. Finalmente, la cubierta o el "mantillo" de hojarasca y rastrojo que se deja en el suelo, reduce la erosión de éste, aumenta la conservación de la humedad y agrega materia orgánica, factores muy importantes para la conservación de los recursos naturales. Sin embargo, ello requiere modificación en las rotaciones de los cultivos para evitar la acumulación de enfermedades e insectos que encuentran en los residuos de las cosechas un medio favorable para sobrevivir y multiplicarse.

### ¿Qué podemos esperar de la biotecnología?

En los últimos 20 años, la biotecnología basada en la recombinación del ADN, ha desarrollado nuevas metodologías científicas y productos inapreciables en alimentación y agricultura. Este viaje más profundo dentro del genoma, a nivel molecular, es la continuación de nuestro entendimiento progresivo de la obra de la naturaleza. La nueva biotecnología permite el cruzamiento (hibridación) entre géneros, familias, órdenes o reinos taxonómicamente diferentes. Los métodos de recombinación de ADN han permitido a los fitomejoradores

seleccionar y transferir genes solos, lo cual no solo ha reducido el tiempo necesario para eliminar los genes indeseables mediante el mejoramiento convencional, sino que también ha permitido a los fitomejoradores tener acceso a genes útiles de otros grupos taxonómicos. Hasta ahora, estas alteraciones genéticas han conferido beneficios para los productores, tales como resistencia a los insectos plaga, enfermedades y herbicidas. Otros beneficios que probablemente provengan de la biotecnología y la hibridación de plantas son variedades con mayor tolerancia a las sequías, al anegamiento, al calor y al frío, atributos importantes dadas las predicciones actuales del cambio climático. Además, muchos beneficios para los consumidores, tales como mejoras nutricionales y otras características relacionadas con la salud, probablemente se logren en los próximos 10 a 20 años.

A pesar de la tremenda oposición en ciertos círculos a los cultivos transgénicos, la adopción comercial de las nuevas variedades por parte de los agricultores constituye uno de los casos de difusión de la tecnología más rápidos en la historia de la agricultura. Entre 1996 y 2001, el área plantada comercialmente con cultivos transgénicos ha aumentado 30 veces (Cuadro 10). ISAAA informa que en 2001, 52,6 millones de hectáreas fueron plantadas con cultivos transgénicos en 13 países y cultivadas por 5,5 millones de agricultores, en comparación con sólo 1,7 millones de hectáreas en 1996 (James 2002). Durante este período, la tolerancia a los herbicidas ha sido la característica dominante, y representa el 77% del área. Una cuarta parte del área con cultivos transgénicos en el mundo se encuentra en los países en desarrollo, el mayor porcentaje de crecimiento de año a año en China entre el 2000 y el 2001, donde la extensión con algodón Bt se triplicó de 0,5 a 1,5 millones de hectáreas.

**Cuadro 10.** Cobertura de cultivos transgénicos, 2001.

	<b>Extensión (millones ha)</b>	<b>Cultivos</b>	<b>Millones ha</b>
Estados Unidos	35,7	Soya	33,3
Argentina	11,8	Maíz	9,8
Canadá	3,2	Algodón	6,8
China	1,5	Canola	2,7
Otros	0,4		52,6
<b>Totales</b>	<b>52,6</b>		

Fuente: Clive James, 2002. ISAAA Informe No. 24.

La mayoría de los cultivos transgénicos utilizados hasta ahora reducen los costos de producción por unidad de producto y, por ende, en teoría, son especialmente adecuados para el mundo en desarrollo, donde más de la mitad de la población todavía se dedica a la agricultura y donde las tecnologías que reducen costos y aumentan los rendimientos son la clave para disminuir la pobreza. En África del Sur, por ejemplo, los pequeños agricultores en la zona de planicies de Makhathini que han adoptado el algodón Bt (*Bacillus thuringiensis*), han aumentado su producción en un 26% en promedio, han reducido la aplicación de insecticidas de siete a una y han aumentado sus ingresos en \$165 por ha (Monsanto Communications 2002). Además, puesto que la biotecnología está empacada en la semilla, los cultivos transgénicos pueden ayudar a simplificar la entrega de insumos, a menudo un importante cuello de botella para llegar a los pequeños agricultores.

Hay varios adelantos que la ingeniería genética podría aplicar a los cereales y que podrían traer enormes beneficios, especialmente a los productores y consumidores pobres. Uno tiene que ver con la resistencia a las enfermedades y otros dos con la calidad de los granos.

Entre todos los cereales, el arroz es único que tiene inmunidad al tizón (*Puccinia* spp.). A todos los demás cereales (trigo, maíz, sorgo, cebada, avena y centeno), los atacan dos o tres especies de tizón, que a menudo ocasionan epidemias desastrosas y fracasos en los cultivos. En los últimos 80 años, se han realizado grandes esfuerzos para lograr variedades de trigo resistentes a especies de tizón amarillo, del tallo y hojas. Después de muchos años de cruzamiento y selección intensiva, y de pruebas internacionales en múltiples regiones, en 1952 se identificó un tipo de resistencia buena y estable al tizón de tallo, pero mal entendida aún, la cual continúa siendo eficaz en todo el mundo. Sin embargo, no se ha obtenido esta clase de éxito con la resistencia al tizón de hoja o al amarillo, donde la resistencia genética en cualquier variedad ha durado poco (3-7 años). Imagínense los beneficios para la humanidad si los genes para la inmunidad contra el tizón del arroz pudieran transferirse al trigo, la cebada, la avena, el maíz, el millo y el sorgo. Finalmente, el mundo podría liberarse del flagelo de todas las modalidades de tizón que han conducido a tantas hambrunas en la historia de la humanidad.

En otro frente, el trigo para el pan tiene una pasta superior para hacer pan con levadura y otros productos de repostería por la presencia de dos proteínas (gliadina y gluten). Ningún otro cereal tiene esta com-

binación. Imagínense, si los genes para estas proteínas pudieran identificarse y transferirse a los otros cereales, especialmente al arroz y al maíz, de modo que de éstos también se pudiera preparar pan de buena calidad sin levadura. Esto ayudaría a muchos países y, especialmente, a los países tropicales en desarrollo, donde la harina de trigo para el pan es a menudo el alimento importado más importante.

Finalmente, también es importante mencionar el potencial creciente de la ciencia para mejorar la calidad nutricional de nuestro suministro de alimentos. El desarrollo de variedades e híbridos de maíz con proteína de alta calidad y con alto contenido de lisina y triptófano mediante métodos de fitomejoramiento convencionales requirió casi dos decenios de investigación laboriosa. En el futuro, usando la biotecnología, podríamos lograr mejoras adicionales en la calidad nutricional de los cereales y otros alimentos a un ritmo más acelerado. Recientemente, la transferencia de genes para aumentar la cantidad de vitamina A, hierro y otros micronutrientes contenidos en el arroz, podría potencialmente traer beneficios significativos para millones de personas con deficiencias de estos elementos, cuya carencia causa ceguera y anemia, respectivamente.

Más allá de los beneficios en la producción de alimentos para humanos y animales, así como de fibra que puedan llegar a alcanzarse mediante los productos biotecnológicos, la posibilidad de que las plantas realmente puedan usarse para vacunar a las personas contra enfermedades (p. ej., virus de la hepatitis B o la enfermedad de Norwalk que provoca diarrea) simplemente cultivándolas y comiéndolas, ofrece enormes posibilidades en los países pobres (ACSH 2000). Esta línea de investigación y desarrollo debe proseguirse con ahínco, probablemente mediante sociedades público-privadas, dado que los programas tradicionales de vacunación son costosos y difíciles de ejecutar.

Hasta la fecha, no hay información científica confiable para sustentar que los cultivos transgénicos son inherentemente peligrosos. El ADN recombinado se ha usado durante 25 años en productos farmacéuticos sin casos documentados de daños atribuibles al proceso de modificación genética. Hasta ahora, también este es el caso de alimentos modificados genéticamente. La industria de semillas ha estado haciendo un buen trabajo en garantizar que sus variedades de cultivos transgénicos sean seguras para plantar y que los alimentos que producen sean seguros para comer.

La mayoría de los agrónomos anticipa grandes beneficios del uso de la biotecnología en los próximos decenios. Sin embargo, probablemente se necesitarán nuevas formas de colaboración pública y privada para asegurar que todos los agricultores y los consumidores del mundo tengan la oportunidad de beneficiarse con esta nueva revolución genética. En particular, se necesitará investigación biotecnológica pública para contrapesar, y complementar, las inversiones del sector privado en investigación. Esto es cierto tanto para los países industrializados como para el mundo en desarrollo.

Actualmente hay una urgente necesidad de que las naciones en desarrollo fijen marcos reguladores para guiar el desarrollo, la experimentación y el uso de los cultivos transgénicos, con el propósito de proteger a las personas y al ambiente. En este proceso legal, los derechos de propiedad intelectual de las compañías privadas deben salvaguardarse para garantizar un rendimiento justo sobre la inversión pasada y para estimular mayor inversión en el futuro. Además, los marcos reguladores no deben ser demasiado burocráticos y no deben tener expectativas irracionales de aversión al riesgo. De hecho, creemos que a la industria de las semillas debe dársele la responsabilidad primaria de velar por la seguridad de sus productos.

Hoy, en los países industrializados, las inversiones en el sector privado son el principal impulsor de la investigación y el desarrollo agrícola. Se nos ha dicho que la forma más rápida de llevar una nueva tecnología a la gente pobre es “acelerar el ciclo del producto” de modo que la tecnología pueda difundirse rápidamente, primero entre los ricos y luego entre los pobres. Aunque esta dinámica de difusión pudiera ser realmente lo que se necesita, creemos que las compañías privadas de biología necesitan establecer precios concesionarios en los países de bajos ingresos, de modo que los agricultores pobres puedan beneficiarse también de los nuevos productos transgénicos.

Además, consideramos que las grandes compañías transnacionales deben compartir sus conocimientos con las instituciones de investigación públicas y los científicos preocupados por la agricultura a pequeña escala y formar sociedades para trabajar con cultivos y problemas agronómicos que actualmente no son de interés prioritario en los principales mercados transnacionales. Nos complace ver que las compañías biotecnológicas privadas se están mostrando muy dispuestas a formar estas sociedades. Monsanto ha sido líder en el establecimiento de iniciativas en países en

desarrollo para la cooperación en productos agrícolas y tecnología. Syngenta está haciendo algo similar, al crear sociedades con centros de investigación agrícola nacionales e internacionales, para abordar los problemas de la producción en África y otros lugares. El Centro Científico de Plantas Donald Danforth en San Luis, Missouri (fundado conjuntamente en 1998 por Monsanto y un consorcio de universidades, institutos públicos de investigación y fundaciones privadas), es una obra particularmente estimulante, dado su fuerte orientación hacia el Tercer Mundo, en su agenda de investigación y en los programas de capacitación.

## Conclusiones

El contragolpe actual contra las ciencias agrícolas y la tecnología, evidente en algunos países industrializados nos resulta difícil de entender. ¿Cuán rápido se aparta la humanidad del suelo y la producción agrícola! Menos del 4% de la población en los países industrializados (aproximadamente un 2% en Estados Unidos) está directamente dedicada a la agricultura. Con un prejuicio muy urbano de suministros de alimentos a bajo costo, resulta poco sorprendente que los consumidores no entiendan las complejidades de volver a producir para abastecer de alimentos al mundo cada año y de incrementar la producción para las casi 80 millones de nuevas bocas que nacen anualmente. Podemos ayudar a abordar esta “brecha educativa” en las naciones urbanas haciendo obligatorio en las escuelas secundarias y universidades que los estudiantes tomen cursos sobre biología y sobre políticas en ciencia y tecnología.

Conforme se ha acelerado el ritmo del cambio tecnológico en los últimos 50 años, el miedo a la ciencia ha crecido. Ciertamente, la ruptura del átomo y las perspectivas de un holocausto nuclear aumentaron el miedo de las personas y ayudaron a acrecentar la brecha entre el científico y el hombre común. El libro *Silent Spring* (Primavera Silenciosa) de Rachel Carson, publicado en 1962, que señalaba que por todas partes había veneno, también tocó los nervios. Por supuesto, esta percepción no era del todo infundada. Para mediados del siglo XX, la calidad del aire y del agua se había deteriorado seriamente por los sistemas de desecho de la producción industrial que lanzaban efluentes a menudo, literalmente *en nuestros propios patios*.

Todos tenemos una deuda de gratitud con el movimiento ecologista en las naciones industrializadas, el cual ha logrado la creación de leyes en los últimos 30



años para mejorar la calidad del aire y del agua, proteger la vida silvestre, controlar la eliminación de desechos tóxicos, proteger los suelos y reducir la pérdida de biodiversidad. Sin embargo, también concordamos con el escritor ambientalista Gregg Easterbrook, quien argumenta en su libro, “*A Moment on the Earth*”, que *en el mundo occidental, la edad de la contaminación casi termina... Aparte de las armas, la tecnología no se está volviendo más peligrosa y derrochadora con desperdicio, sino más limpia y más eficiente en recursos. La tecnología limpia será la sucesora de la alta tecnología.*

Sin embargo, Easterbrook continúa y advierte que *las tendencias son tan positivas en el Primer Mundo como negativas en el Tercer Mundo. Una razón por la cual Occidente debe sacudirse de su pensamiento de fin del mundo en un instante, respecto a Estados Unidos y Europa Occidental, es para que los recursos puedan desviarse hacia la protección ecológica en el mundo en desarrollo*”. Estos incluyen agua limpia y sistemas sanitarios para los asentamientos humanos y la conservación del suelo y del agua.

Más recientemente, Bjorn Lomborg, en su nuevo libro, “*The Skeptical Environmentalist*”, brinda una fuerte crítica del modo en el cual muchas organizaciones ambientalistas extremistas distorsionan la evidencia científica. Lomborg concluye, con base en su investigación, respaldada por más de 2 900 citas que permiten al lector revisar las fuentes por sí mismo, que con relación al ambiente hay más razones para ser optimistas que pesimistas y subraya la necesidad de *priorizar con mente despejada los recursos para confrontar problemas reales y no imaginarios en el futuro* (Lomborg 2001).

En sus escritos, el profesor Robert Paarlberg de Wellesley Collage y Harvard University en Estados Unidos sonó la alarma hace casi una década con respecto al punto muerto entre los agricultores y los ecologistas, sobre lo que significa *agricultura sostenible* en el Tercer Mundo. Este debate ha confundido, sino paralizado, a muchos en la comunidad internacional de donantes, quienes temerosos de antagonizar a los poderosos grupos ambientalistas que cabildean, han retirado su apoyo a los proyectos de modernización agrícola basados en las ciencia, todavía tan necesarios en gran parte de los minifundios de Asia, el Sub Sahara de Africa y América Latina.

La brecha entre agricultores y ambientalistas debe romperse. No debemos perder de vista el enorme trabajo ante nosotros de alimentar a las futuras generaciones, el 90% de las cuales comenzará su vida en un país en desarrollo y muchos en la pobreza. Solo mediante el desarrollo agrícola dinámico habrá esperanza de aliviar la pobreza y mejorar la salud humana y la productividad y de reducir la inestabilidad política.

El mundo tiene la tecnología, ya sea disponible actualmente o en un estado muy avanzado, en la cartera de investigación, para alimentar en una base sostenible una población de 10 mil millones de personas que se proyecta habitarán en este planeta para finales del siglo XXI. Las preguntas más pertinentes son: ¿Se permitirá a los agricultores el acceso a una corriente constante de nuevas tecnologías necesarias para abordar los retos agrícolas, alimentarios y nutritivos por venir? y ¿El flagelo de la pobreza podrá continuar siendo aminorado de modo que a un número cada vez mayor de habitantes del mundo se les garanticen las necesidades nutricionales mínimas para su salud y desarrollo humano?

### Literatura citada

- American Council on Science and Health (ACSH). 2000. *Biotechnology and Food*. 2.ed. New York.
- Easterbrook, G. 1996. *A Moment on the Earth*. London, Penguin Books.
- James, C. 2002. *Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2001*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications (ISAAA). Brief No. 24. ISAAA Southeast Asia Center, Los Baños, The Philippines.
- Khush, GS. 1995. Modern varieties—their real contribution to food supply and equity. *Geojournal* 35(3):275-284.
- Lomborg, B. 2001. *The Skeptical Environmentalist*. Cambridge University Press.
- Mujeeb-Kazi, A; Hettel, GP. Ed. 1995. *Utilizing Wild Grass Biodiversity in Wheat Improvement—15 Years of Research in Mexico for Global Wheat Improvement*. Wheat Special Report No. 29. Mexico, CIMMYT.
- Pinstrup-Andersen; Pandya-Lorch, R. Eds. 2000. *Unfinished Agenda: Perspectives on Overcoming Hunger, Poverty, and Environmental Degradation*. Washington DC, IFPRI.
- Rajaram, S; Borlaug, NE. 1997. *Approaches to Breeding for Wide Adaption, Yield Potential, Rust Resistance and Drought Tolerance*. In *Simposio Internacional de Trigo* (1, 1997, Ciudad Obregón, México).
- Smil, V. 1999. *Long-Range Perspectives on Inorganic Fertilizers in Global Agriculture*. Travis P. Hignett Memorial Lecture, IFDC, Muscle Shoals, Alabama
- World Meteorological Organization. 1997. *Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World*.