

*El desarrollo futuro
del maíz y el trigo en el Tercer Mundo*



Maíz y trigo para el Tercer Mundo

*El desarrollo futuro
del maíz y el trigo en el tercer mundo*



Maíz y trigo para el Tercer Mundo

El CIMMYT es una organización internacional sin fines de lucro que está dedicada a la investigación científica y al adiestramiento. El CIMMYT, con sede central en México, está comprometido en un programa de investigación a nivel mundial para maíz, trigo y triticale con énfasis en producción alimentaria en países en desarrollo. Este es uno de los 13 centros internacionales sin propósitos de lucro que están involucrados en la investigación agrícola y adiestramiento, patrocinada por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCIAl). El GCIAl está apoyado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), el Banco Internacional para la Reconstrucción y el Desarrollo (Banco Mundial), y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). El GCIAl cuenta con 45 países donadores, organizaciones internacionales y regionales y fundaciones privadas.

El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) recibe apoyo de varias fuentes incluyendo las instituciones de ayuda internacional de Australia, Austria, Brasil, Canadá, China, la Comisión Económica Europea, Dinamarca, España, EUA, Filipinas, Francia, India, Irlanda, Italia, Japón, México, Noruega, los Países Bajos, Reino Unido, República Federal de Alemania, Suiza y el Banco Interamericano de Desarrollo, el Banco Internacional para la Reconstrucción y Desarrollo, el Centro Internacional para el Desarrollo de la Investigación, la Fundación Ford, la Fundación OPEP para el Desarrollo de la Investigación, la Fundación Rockefeller y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. La responsabilidad de esta publicación es solamente de CIMMYT.

Cita Correcta: CIMMYT. 1987. *El desarrollo futuro del maíz y trigo en el Tercer Mundo*. CIMMYT, México, D.F.

ISBN 968-6127-20-8

Indice

- 1 Palabras de bienvenida**
S.S. Husain
Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales,
Washington, D.C., EUA
- 6 Avances en la productividad de maíz y trigo**
N.E. Borlaug
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México
- 30 La revolución verde**
M.S. Swaminathan
Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz, Los Baños, Filipinas
- 52 Logros y retos: Problemas relacionados con las políticas**
G.E. Schuh
Desarrollo Agrícola y Rural, Banco Mundial, Washington, D.C., EUA
- 61 Comentarios**
W.P. Falcon
Instituto de Investigación Alimentaria, Universidad de Stanford, Stanford,
California, EUA
- 65 El papel de la ciencia y la tecnología en la producción del maíz y el trigo**
M.H. Arnold
Cambridge, Reino Unido
- 77 Comentarios**
D. Acker
Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Washington,
D.C., EUA
- 78 El papel del desarrollo de germoplasma en el aumento de la productividad del maíz**
D. Duvick
Pioneer Hi-Bred International, Johnstown, Iowa, EUA
- 84 Comentarios**
E.W. Sprague
Hull, Georgia, EUA
- 86 Oportunidades de aumentar el potencial de rendimiento del trigo**
L.T. Evans
División de Industria Vegetal, CSIRO, Canberra, Australia
- 102 Comentarios**
K.J. Frey
Universidad del Estado de Iowa, Ames, Iowa, EUA

- 
-
- 105 La agronomía en la producción: Problemas y mejoramiento**
C. Charreau y G. Rouanet
Instituto de Investigación Agrícola Tropical/Centro de Cooperación Internacional en la Investigación Agrícola para el Desarrollo, Francia
- 125 Comentarios**
A. Turrent F.
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias, México
- 129 Desarrollo de recursos humanos: Transferencia de tecnología**
M. Catley-Carlson
Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, Hull, Canadá
- 136 Comentarios**
G.T. Castillo
Universidad de las Filipinas, Los Baños, Filipinas
- 140 Fortalecimiento de programas nacionales de investigaciones agrícolas**
P.R.N. Chigaru
Departamento de Investigaciones y Servicios Especializados, Ministerio de Tierras, Agricultura y Reasentamientos Rurales, Harare, Zimbabwe
- 147 Comentarios**
A. von der Osten
Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional, La Haya, Países Bajos
- 153 La investigación en el CIMMYT: Multiplicación de los logros**
D.L. Winkelmann
Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México
- 165 Comentarios**
G. Camus
Comité Asesor Técnico, Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales, Washington, D.C., EUA
- 171 Organismos mencionados en el texto**
- 173 Lista de ponentes**
- 175 Lista de participantes**

Palabras de bienvenida

S.S. Husain

Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales, Washington, D.C., EUA

Estoy encantado de estar en la celebración del vigésimo aniversario del CIMMYT y, como dije ayer, merecen ser felicitados todos los participantes en este esfuerzo de investigación de excelentes resultados. También deseo reconocer el apoyo y la cooperación del Gobierno Mexicano, que ha facilitado el trabajo del CIMMYT y que le ha permitido establecer su sede en México. Hay tres centros internacionales en América Latina cuya labor es muy importante, tanto a nivel regional como mundial. El apoyo que brindan los países anfitriones (Perú, Colombia y México) ha sido trascendental para el progreso de la investigación en estos centros.

Los logros del CIMMYT durante estos veinte años, y aun antes de que se le aceptara formalmente en el Grupo Consultivo, han sido enormes, pues ha contribuido a lograr la autosuficiencia de trigo, así como a una mayor producción de maíz en numerosos países. Sin embargo, no es nuestro propósito exhibirnos sobre estos logros o contentarnos con ellos, pues todavía queda mucho que hacer en respuesta a los problemas mundiales de alimentación. Este simposio ofrece un foro excelente para intercambiar ideas y planes para el futuro desarrollo del maíz y el trigo, dos cultivos que alimentan actualmente a tantas personas y cuya demanda futura será, según los pronósticos, mucho mayor.

El CIMMYT y todo el sistema del GC han estado evaluando nuestros programas y definiendo tareas futuras. Con este fin, quisiera hablar brevemente sobre los recursos que necesitará el sistema para enfrentar esos retos.


El sistema se fundó con dos características principales: independencia en cuanto a la realización de investigaciones científicas y un compromiso de carácter internacional. Se

concibió a los centros como instituciones que podían trabajar eficientemente sin interferencia política, en la atmósfera turbulenta de las naciones nacientes. A diferencia de las instituciones nacionales de investigación, los centros podían continuar con la investigación aun cuando las naciones se ocuparan de problemas más inmediatos. Desde el principio, se vio a los centros como "centros de excelencia". Es este compromiso con la excelencia científica lo que ha señalado el camino para lograr rendimientos mayores y más estables. Y debe ser esta excelencia científica lo que mantenga estos rendimientos y aun los incremente mediante variedades mejoradas de cultivos y un medio de producción más favorable.

Durante estos 20 años, el CIMMYT ha contribuido enormemente a lograr la autosuficiencia en trigo y aumentar la producción de maíz en varios países.

Una buena investigación científica puede ser y, de hecho, es importante para los agricultores y los consumidores. La generación de nuevas tecnologías es una tarea fundamental de la investigación, pues los agricultores dependen del suministro constante de éstas para mantener y mejorar sus técnicas de producción y, con suerte, el ingreso familiar. Pero no sólo el agricultor se beneficia con una buena investigación; también el consumidor se beneficia, ya que cuenta con un abastecimiento asegurado de alimentos más nutritivos a un precio razonable.

Puesto que las condiciones varían de un país a otro, cada nación debe tener su propia capacidad de investigación para reconocer y resolver sus necesidades



particulares de alimentos. Uno de los aspectos positivos del sistema del GC, ha sido la capacidad de cada uno de los centros para trabajar en colaboración con esos programas nacionales de investigación y complementarlos. Sin embargo, debemos seguir explorando nuevas y mejores formas de trabajar colectivamente con los programas nacionales ya afianzados y con los países que aún no tienen programas nacionales vigorosos.

Ayudar a los países a satisfacer sus necesidades de investigación es una labor tremenda, porque éstas se modifican constantemente.

Ayudar a los países en sus necesidades de investigación es una labor tremenda, ya que sus necesidades representan objetivos que se modifican constantemente. El problema de la producción de alimentos y de su distribución está cambiando; las políticas de los gobiernos se modifican y a menudo es difícil concretar compromisos de investigación a largo plazo. Este es el ambiente en que tienen que trabajar los centros. En esta situación, la continuidad de la labor del centro puede ser el ingrediente que mantenga el progreso de las investigaciones de los programas nacionales. Con este propósito, es imperativo que el financiamiento de los centros sea continuo y a largo plazo. Los estudios efectuados en los países industriales indican que se requieren de ocho a diez años a partir de su inicio para que las investigaciones rindan todos sus frutos y, cuando se trata de innovaciones pecuarias, se necesitan de 13 a 15 años para que el beneficio logrado llegue a los ganaderos y a los consumidores.

¿Qué nos espera en el futuro? El crecimiento continuo y veloz de la población exigirá mayores incrementos en la producción de alimentos. En los próximos 20 años, las poblaciones de los países en desarrollo casi se duplicarán de

3,300 a 6,450 millones. Uno de los hechos más alarmantes relacionados con este crecimiento es que será más rápido en aquellas zonas donde los recursos de la tierra son los menos adecuados para satisfacer las necesidades de la alimentación. En consecuencia, las soluciones para el abastecimiento adecuado de alimentos radican no sólo en el incremento de la producción, sino también en mayores ingresos y mejores infraestructuras para la distribución de los alimentos. Y, puesto que también se prevé que disminuirá la tenencia de la tierra entre las personas con menores ingresos, se volverá aún más importante buscar nuevas formas de incrementar la productividad de los pequeños propietarios.

Recientemente, el GCIAI adoptó una definición de objetivos que refleja estos problemas. Consideramos que las investigaciones agrícolas internacionales y las actividades que se relacionan con ellas deben contribuir a aumentar la producción sostenible de alimentos en los países en desarrollo, de tal modo que mejoren tanto el nivel nutricional como el bienestar económico general de las personas de escasos ingresos. Esto significa *investigación* y las actividades que se relacionan con ella, y no actividades de desarrollo o asistencia técnica; *alimentos y forraje*, no artículos industriales; *tecnologías para la producción sostenible a largo plazo*, y no tecnologías que sacrifiquen la estabilidad ecológica para obtener aumentos a corto plazo en la productividad, y *el mejoramiento de la nutrición y el bienestar económico de las personas de bajos ingresos*, no sólo mediante el incremento de la producción de alimentos, sino también a través de la mejor calidad de éstos, la mayor equidad de su distribución, un abastecimiento alimentario más estable y el aumento del poder adquisitivo.

Es importante el desplazamiento de la meta del GCIAI hacia el concepto de una agricultura sostenible. Sostenibilidad significa un mayor énfasis en la tierra, el recurso básico. Significa escoger patrones de cultivo que no disminuyan la

capacidad productiva del recurso básico, tales como la rotación de cultivos, el cultivo intercalado, la utilización adecuada de leguminosas y árboles, y el desarrollo de sistemas eficaces de cultivo y cría de ganado. Significa también evitar la erosión, la acumulación de salinidad y el agotamiento de los recursos hídricos. Para lograr la sostenibilidad se requerirá un programa integral que abarque actividades de investigación diferentes pero interdependientes. El reto es combinar las ventajas comparativas de los centros de manera que se alcance este objetivo.

¿Cómo podemos enfrentar este reto?

Algunas ideas que expresó Lloyd Evans en un comentario para el Informe Anual del GCIAl de 1985 me han ayudado a concretar mis propias ideas. Lloyd señala que los centros internacionales han influido profundamente en la forma de efectuar las investigaciones. Por ejemplo, ha sido muy importante la concentración de esfuerzos, en un solo producto o problema, de científicos notables especializados en muchas disciplinas. Entre las actividades importantes de los centros internacionales figuran la reunión de amplias colecciones de germoplasma en un lugar para realizar numerosos cruzamientos y después evaluar su desempeño en muchas zonas. El concepto de amplia adaptabilidad del germoplasma también encaja en el contexto de los centros internacionales.


Según mi concepto de la adaptabilidad amplia, los materiales vegetales que se desarrollan en un lugar pueden tener un buen desempeño en otras partes del mundo. Por ejemplo, vimos el éxito de los trigos mexicanos en Pakistán y la India en el decenio de 1960. En aquella primera época, la adaptabilidad amplia se lograba pronto porque los aumentos del rendimiento se obtenían gracias a factores tales como la menor altura y el uso de fertilizantes más eficaces en las mejores tierras. A partir de aquellos primeros avances, al parecer ahora la investigación se encamina hacia la adaptación de variedades nuevas a medios específicos. ¿Significa esta nueva orientación que la adaptabilidad amplia

ha llegado a su límite en ciertas circunstancias, o que se ha llegado a límites agroclimáticos en el empleo de la estrategia de la adaptabilidad?

Un interrogante que planteo es en qué medida ha dado buenos resultados la adaptabilidad amplia en Africa. ¿Se puede atribuir el desempeño deficiente en Africa de los materiales desarrollados en otro lugar a que la adaptabilidad amplia tiene menos éxito allí? Quizá sea sólo una cuestión de grados, pero sabemos que los ambientes en Africa son diversos y abundan los problemas de plagas y enfermedades. Tal vez en esas circunstancias se requieran más programas de mejoramiento que se adapten a las necesidades locales. Me parece que este problema de los resultados de la adaptabilidad amplia en Africa es un importante asunto estratégico que merece ser analizado a fondo por expertos internacionales. Me referiré de nuevo a este tema más adelante.

Los centros relacionados con cultivos deben seguir ampliando los bancos de germoplasma y utilizar el acopio de recursos genéticos que hay en ellos. Para algunos centros, explotar los complejos de germoplasma será en el futuro su actividad más importante. Estas actividades requieren científicos que puedan reconocer los problemas de importancia internacional y que puedan vencer dificultades en el proceso de la investigación. La capacidad de los programas nacionales mejora y, a medida que efectúen más y más investigaciones adaptables y aplicadas para satisfacer las necesidades específicas de cada lugar, los centros internacionales podrán avanzar en la investigación.

En el CIMMYT ya comenzó esta superación de dificultades de la investigación y estamos encantados de ver el papel mucho más importante que ustedes desempeñan en las actividades relacionadas con los recursos genéticos. Elogiamos en particular el aumento de sus esfuerzos en el banco de germoplasma tanto de trigo como de



maíz, sus programas de cruza amplias y el creciente énfasis en la investigación de la biotecnología del trigo y el maíz.

El estudio sistemático de las colecciones mundiales de germoplasma ha revelado un conjunto de fuentes de resistencia a múltiples plagas y enfermedades. También ha aumentado en forma considerable el potencial de uso de las variedades silvestres. La Junta Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR) y los centros relacionados con cultivos han asignado gran prioridad a la recolección y caracterización de variedades silvestres. Por consiguiente, ahora más que nunca es importante que continúe el libre movimiento de germoplasma a nivel mundial. Y es también imperativo evaluar y documentar adecuadamente el germoplasma que se recoge y almacena. Las colecciones deficientemente evaluadas, cualquiera sea su extensión, no son útiles para los fitogenetistas.

El CIMMYT está en el centro del origen del maíz; también se encuentra aquí la mayor diversidad genética de las variedades silvestres afines. El empleo de la nueva información genética y de las nuevas técnicas ha hecho posible realizar cruzamientos amplios entre cultivos y plantas silvestres. Este trabajo debe continuar para que genes robustos obtenidos de plantas silvestres se puedan utilizar para mejorar nuestros cultivos. En el CIMMYT, ustedes han efectuado cruzamientos amplios con el maíz y el trigo con resultados prometedores, aunque aún no se han lanzado variedades nuevas con genes silvestres. Espero enterarme hoy de algunos de los posibles avances.

La mayoría de los centros han establecido programas eficaces de mejoramiento y algunos realizan también investigaciones moleculares y celulares. En el futuro se debe incrementar la interrelación entre la investigación sobre la planta en su totalidad y las investigaciones celulares y moleculares. Para ser eficaces, los centros internacionales tendrán que reforzar sus investigaciones sobre patología, fisiología

y entomología con el fin de asegurar que habrá nuevos conocimientos y que se dedicará atención científica a los problemas mundiales presentes y futuros.

Quiero felicitar al CIMMYT por sus esfuerzos para utilizar la información de los ensayos internacionales en forma más creativa y aprovechar en la mayor medida posible los ensayos con el maíz y el trigo. Espero que continúen con este trabajo y que los otros centros hagan un esfuerzo conjunto para aprender lo más posible de la gran empresa que es la red internacional de viveros.

Es preciso evaluar continuamente los sitios de prueba de los ensayos, de modo que se puedan hacer comparaciones confiables entre los numerosos viveros que operan en todo el mundo. Ya no es suficiente evaluar los nuevos materiales basándose en comparaciones del rendimiento; una minuciosa caracterización física y ambiental de cada sitio de prueba nos ayudará a agilizar las actividades de los ensayos y a mejorar nuestra capacidad de comparar y predecir los resultados en diferentes lugares, en particular, al adaptar las variedades a tierras marginales.

Debemos estar conscientes de que se necesitarán algunos de los recursos de tierra utilizados para cultivos alimentarios no sólo para enfrentar las cada vez mayores demandas de producción de alimentos sino también para contribuir a satisfacer las demandas de energía en los países en desarrollo. Los pronósticos indican que el número de personas que carecerá de leña para finales del siglo será de 2,986 millones, más del doble de los 1,395 millones señalados en 1980. Estas demandas de tierra podrían ser competitivas, o podrían complementarse si se fomentaran nuevos sistemas de producción, como los cultivos asociados o la producción de arbustos madereros.

Los centros internacionales también deben estar preparados para ayudar a mantener los aumentos del rendimiento

que ya se han logrado. Surgen con mucha frecuencia nuevas formas de insectos y enfermedades que amenazan dañar los cultivos y reducir los rendimientos, causar escasez de alimentos y disminuir en forma considerable el ingreso de los agricultores. Con el fin de prevenir tales pérdidas, es necesaria la investigación de mantenimiento para identificar nuevos insectos o enfermedades potenciales, identificar fuentes de resistencia a esas plagas y ayudar a los programas nacionales a incorporar los genes de resistencia en sus propias variedades nuevas. Dicha investigación de mantenimiento requiere conocimientos excelentes, esfuerzos continuos y recursos económicos garantizados.

Hoy escucharemos las opiniones más recientes sobre si ya hemos o no logrado, o tal vez pronto lograremos, un nivel de rendimiento del trigo que no se pueda superar. Esta es una cuestión muy importante no sólo para el trigo sino también para otros cultivos. Es imperativo conocer el potencial biológico de los cultivos y la posibilidad, si es que la hay, de cambiar ese potencial mediante la investigación. Sabemos con certeza que una buena parte de los aumentos de rendimiento obtenidos durante los dos últimos decenios se han logrado aumentando la proporción de grano en relación con la paja. ¿Qué se puede hacer ahora, si es que se puede hacer algo, para incrementar el rendimiento de la biomasa total de los cultivos? Espero enterarme de algo más sobre esto hoy.

Para terminar, me gustaría poner a consideración dos ideas. Primero, ¿no es tiempo ya de que examinemos con cuidado a nivel mundial nuestra experiencia y conocimientos en lo que

concierne la adaptabilidad amplia? Sabemos que la adaptabilidad amplia tuvo mucho éxito en los decenios de 1960 y 1970, pero ahora muchos países adaptan cada vez más las variedades a sus propias condiciones. ¿Es esto inevitable y lógico? ¿Por qué no ha funcionado mejor la adaptabilidad amplia en Africa? ¿Qué es lo que muestran las pruebas en ese país? Los centros del GCIAI cuentan con información y experiencia considerables sobre la adaptabilidad amplia. ¿No deberíamos celebrar pronto un taller de trabajo para analizar lo que sabemos y lo que no sabemos sobre la adaptabilidad amplia y sus límites?

En segundo lugar, el GCIAI ha adquirido una vasta experiencia en cuanto al mejoramiento de muchos cultivos, pero, en especial, de los cereales. ¿No ha llegado el momento de discutir y comparar nuestras experiencias y conceptos sobre las estrategias de mejoramiento de los cereales con otros científicos? Una reunión de ese tipo podría ser de gran importancia ya que se podría evaluar años de labor internacional para integrarla en planes futuros de mejoramiento, en particular los que incluyen una participación mayor de la biotecnología.

Por último, quiero subrayar una vez más la importancia de este simposio. El maíz y el trigo juntos representan el 40% de la producción total de cereales en el mundo. Se espera que la demanda de trigo aumente en proporción al crecimiento demográfico, mientras que se pronostica que el maíz constituirá una proporción aún mayor del alimento humano y animal. Por consiguiente, es de suma importancia el apoyo de los sistemas de investigaciones agrícolas que se dedican a estos productos básicos.



Avances en la productividad de maíz y trigo

N.E. Borlaug

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México

He tomado licencia literaria para ampliar el tema que me fue asignado. Si bien los efectos sobre la productividad son, y deben seguir siendo, los criterios más importantes para evaluar la labor del Centro, éstos son, a su vez, consecuencia de otros factores. Han sido de especial importancia el desarrollo de las metodologías de investigación agrícola y el establecimiento de redes internacionales de investigadores del maíz y el trigo, logros característicos del Centro.

Las semillas de las que surgió el CIMMYT

Al analizar la evolución del CIMMYT y sus contribuciones para mejorar la productividad del maíz y el trigo, se debe comenzar por el Programa Mexicano de Cooperación Agrícola, lanzado en 1943 como un proyecto conjunto de la Secretaría de Agricultura de México y la Fundación Rockefeller. Aquellos de nosotros que pertenecíamos al personal del Programa de Cooperación Agrícola del gobierno mexicano y la Fundación Rockefeller (Oficina de Estudios Especiales) durante el período 1943-1960, nos sentimos profundamente agradecidos por el apoyo que nos brindaron los funcionarios y empleados del gobierno mexicano y de la Fundación Rockefeller, apoyo que preparó el camino para la creación del CIMMYT. Entre este grupo merecedor de un reconocimiento especial por el apoyo que prestaron cabe mencionar al Ing. Marte R. Gómez, Ing. Alfonso González Gallardo, Presidente Adolfo López Mateos e Ing. Julián Rodríguez Adame de México, y a los "cuatro jinetes" de la Fundación Rockefeller, los Drs. E.C. Stakman, Paul Mangelsdorf, Richard Bradfield y J.G. Harrar. Durante este primer período, el interés y apoyo de Don Rodolfo Elías Calles también fueron esenciales para que el Programa de Trigo lograra el éxito. Don Rodolfo organizó a los agricultores y empresarios agrícolas

de Sonora para establecer lo que hoy es el CIANO (el Centro de Investigación Agrícola del Noroeste del INIFAP), que se ha convertido en una Meca de investigaciones y capacitación para todos los científicos de trigo en el mundo. Además fue el móvil en la fundación del Patronato para la Investigación Agrícola, una organización única, financiada por los agricultores, que ha resultado muy eficaz en su apoyo a la investigación agrícola.

El Programa Mexicano de Cooperación Agrícola

Contrario a la opinión pública general, el objetivo de la investigación de este programa era mucho más amplio que la creación de variedades mejoradas de alto rendimiento y resistentes a las enfermedades. Durante los 17 años que duró, no sólo creó tecnologías mejoradas para la producción, sino que también ayudó a construir una infraestructura nacional de investigación para apoyar los esfuerzos de México por aumentar la cantidad, calidad y disponibilidad de alimentos para el pueblo. Se dio prioridad a la investigación interdisciplinaria pragmática, encaminada a superar los principales problemas de producción que limitaban la productividad. Los frutos de esta investigación se compartieron libremente con la comunidad científica internacional.

Durante las dos décadas que estuvo en operación, este programa tuvo un impacto significativo, ayudando al país a alcanzar la autosuficiencia en la producción de maíz y trigo en los años 50. El resultado de esta investigación en una producción mayor se logró con rapidez gracias a una política que consistía en transferir la nueva tecnología de producción de las parcelas de investigación a los campos de los agricultores tan pronto como se obtuvieran mejoras significativas. Durante los primeros años, antes de que se

contara con un servicio de extensión, el investigador llevaba a cabo la transferencia, lo cual ofrecía una triple ventaja: (1) se lograba un efecto más rápido sobre la producción creciente, (2) hacía que el investigador estuviera consciente de las ventajas, desventajas y riesgos que presentaba la nueva tecnología y (3) le permitía al investigador modificar con presteza las prioridades de la investigación para resolver nuevos problemas de producción.

La capacitación de investigadores locales fue una actividad importante desde el comienzo y quizá sea una de las aportaciones más significativas del programa. Más de 700 investigadores mexicanos participaron en cursos en servicio y 200 individuos recibieron becas de la Fundación Rockefeller para obtener títulos de maestría y doctorado. Los aspectos educativos del programa culminaron en el establecimiento de la primera escuela de posgrado en ciencias agrícolas en América Latina. Esta institución, conocida como el Colegio de Posgraduados, fue ideada y llevada a realización por el Dr. E.C. Stakman, con la ayuda de muchas otras personas en Chapingo en 1959.


Impacto sobre la producción en México

Desde 1960, México ha logrado importantes avances en las investigaciones de maíz y trigo gracias a sus esfuerzos de investigación nacional y a la colaboración en la investigación del CIMMYT. Entre 1961 y 1965, y 1982 y 1984, la producción mexicana de trigo aumentó en un índice medio anual de 5.1% y la producción de maíz en un 3% anual. En la actualidad, México ocupa, a nivel mundial, el quinto lugar en la producción de maíz y el decimoquinto en la producción de trigo. En lo que se refiere al maíz, el rendimiento nacional a partir de 1970-72 ha aumentado en un índice de 3.1% anual, aunque el área total de tierra dedicada al cultivo de maíz ha disminuido ligeramente. Los crecientes déficits en la producción nacional del maíz se deben al rápido crecimiento demográfico y a la excesiva demanda de este grano como alimento

para ganado y aves de corral. No debemos olvidar que el incremento en la demanda de alimentos a veces es consecuencia sólo del crecimiento demográfico. En 1943 la población de México era de cerca de 23 millones; en 1986 ha sobrepasado los 80 millones. En cuanto al trigo, el rendimiento nacional medio actual, aproximadamente de 4 t/ha, es el más alto en el mundo en desarrollo y sólo unos cuantos países europeos del mundo desarrollado tienen rendimientos más altos. Debido en gran parte a estos avances en la productividad, México ha vuelto a ser autosuficiente en la producción de trigo, aunque una cantidad considerable se usa para el consumo animal.

La capacitación de investigadores locales quizá fuera la actividad más importante del Programa de México y la Fundación Rockefeller.

No obstante, para seguir siendo autosuficiente en trigo durante los próximos 20 años, teniendo en cuenta el incremento en la demanda ocasionado por el crecimiento demográfico y el mayor consumo per cápita, será necesario expandir el cultivo del trigo a regiones que tradicionalmente no lo producían. Existe la posibilidad de extender la superficie cultivada hacia el sur, durante el invierno, hacia áreas semitropicales de la costa del Pacífico y hacia la región húmeda del norte del Golfo de México. A fin de alcanzar este objetivo, es necesario crear variedades que posean un alto nivel de resistencia no sólo a la roya de la hoja, sino también a especies de *Helminthosporium*, *Gibberella* y *Septoria*, y a un complejo de organismos que producen pudrición de la raíz, en especial *Sclerotium rolfsii*. La necesidad que tiene México de investigar para explotar este potencial coincide con la labor internacional de investigación del CIMMYT sobre "trigo tropical" iniciada en 1981.



Una segunda forma de incrementar la producción mexicana de trigo consiste en aumentar la productividad del trigo durante la época lluviosa de verano en tierras altas, sobre todo de la meseta central. Las investigaciones realizadas a fines de los 40 establecieron con toda claridad la factibilidad biológica y económica de la producción en estas condiciones. Sin embargo, como la cosecha de las áreas tradicionales de producción invernal aumentó rápidamente y era suficiente para satisfacer la demanda hasta fines de los 70, este potencial de producción casi no se explotó. En los últimos cinco años ha crecido en forma espectacular la superficie sembrada con trigo de verano. Se requiere una mayor colaboración en la investigación entre el CIMMYT y el INIFAP para ampliar la resistencia a diversas enfermedades foliares y crear variedades con tolerancia a altos niveles de aluminio soluble en ciertas áreas, si se desea explotar todo el potencial de la producción de trigo de verano en las tierras altas de México. El CIMMYT también tiene interés en desarrollar dicha investigación para emplearla en la región andina, en los países del Cono Sur y en África Oriental.

Establecimiento de los centros internacionales de investigación agrícola

Con los programas de maíz y trigo en México como ejemplos, y con un conocimiento preciso de la cada vez peor escasez de alimentos en Asia, los Dres. J.G. Harrar (el primer director del Programa para la Cooperación Agrícola en México y, posteriormente, presidente de la Fundación Rockefeller) y F.F. Hill, de la Fundación Ford, ayudaron a establecer en 1960, con la cooperación del Gobierno de Filipinas, el primer centro verdaderamente internacional: el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI) en Los Baños, Filipinas.

Para cuando se fundó el IRRI, el Programa para la Cooperación Agrícola en México había logrado su objetivo primordial: el establecimiento de la capacidad nacional de investigación

agrícola. En 1960, el Gobierno de México fundó el Instituto Nacional de Investigación Agrícola (INIA, ahora INIFAP) como un organismo público semiautónomo. Pocos años después, cuando el INIA había asumido la misión nacional de producir resultados de investigación para el agricultor mexicano, el ya fallecido Presidente de México, Lic. Adolfo López Mateos, propuso en 1964 la creación de un centro internacional de investigación de maíz y trigo para apoyar la labor de los programas nacionales en todo el mundo, pero haciendo hincapié en los problemas de producción de los países en desarrollo. Con esta misión, el CIMMYT se fundó en 1966 como el segundo centro internacional de investigación agrícola de una red internacional que ahora está apoyada por el Grupo Consultivo para la Investigación Agrícola Internacional (GCAI), y que cuenta hoy con 13 centros autónomos.

Las aportaciones del CIMMYT a la investigación

Al hacer mis comentarios sobre las aportaciones del CIMMYT a las investigaciones sobre el maíz y el trigo, trataré los logros de la organización predecesora del Centro como parte del legado global del CIMMYT. Dado el traslape considerable en el personal de ambas organizaciones y el hecho de que la filosofía funcional del Centro se basó en gran parte en la de su predecesora, es apropiado considerar ambas fases como parte del mismo continuo. No obstante, cabe mencionar que muchos avances que se le atribuyen al CIMMYT, por lo menos en el área del trigo, fueron logrados antes de su fundación como centro internacional.

Dentro de la comunidad de investigación agrícola, el CIMMYT ocupa mercedamente un lugar distinguido. Su personal, pasado y presente, ha desempeñado un papel vital en el desarrollo de investigación agrícola orientada a los productos en el Tercer Mundo. Sus logros más sobresalientes han sido la creación de variedades de maíz y trigo de alto rendimiento con amplia adaptación, mayor fiabilidad del rendimiento, así como la creación de

prácticas agronómicas que hacen posible que estos materiales mejorados pongan de manifiesto su gran potencial genético de rendimiento. Los mayores beneficios comerciales de esta investigación se han producido en el trigo harinero (*Triticum aestivum*), en donde la tecnología mejorada se unió a políticas económicas estimulantes y a insumos de producción y crédito de fácil acceso, que fomentaron la rápida adopción de las nuevas tecnologías y resultaron en mayores rendimientos y producción en tantos países. No obstante, importantes avances en maíz están a punto de convertirse en realidad. También hay que mencionar, como importantes avances de la investigación, los esfuerzos por lograr que el triticale se convierta en un cultivo comercial y por crear materiales de maíz superiores desde el punto de vista nutritivo. Ambos proyectos implicaron investigaciones básicas a corto y largo plazo que ahora están a punto de producir resultados comercialmente útiles. La labor recientemente iniciada para generar variedades con mayor fiabilidad de rendimiento en condiciones ambientales adversas y las investigaciones del CIMMYT sobre las tecnologías de manejo de cultivos constituyen también actividades significativas. En beneficio de nuestros invitados, haremos un breve comentario acerca de cada uno de estos logros en la investigación.


Adaptación amplia

Hasta la década de los 50, aunque hoy día está presente en cierto grado, el dogma del fitomejoramiento sostenía que la única forma de garantizar la creación de variedades de alto rendimiento bien adaptadas, consistía en seleccionarlas entre todas las generaciones segregantes en la localidad donde se cultivarán en forma comercial. Frente a la urgente necesidad de crear en México variedades de trigo que poseyeran una resistencia aceptable a la roya del tallo, se tomó la decisión de ignorar el dogma y emplear diversas zonas ecológicas que permitieran el cultivo y la selección de dos generaciones segregantes de progenies cada año. Como en diferentes localidades estaban presentes diversas

razas de roya de tallo, este método hacía posible un programa más eficaz de selección para crear una resistencia más perdurable (de más amplio espectro) a la roya del tallo y a otros patógenos. Con dos ciclos de mejoramiento cada 12 meses, en teoría se podría producir una nueva variedad cada cuatro años en lugar de los ocho años que se necesitaban con los métodos convencionales.

Para lograrlo, se emplearon dos localidades en México, separadas entre sí por 10° de latitud (y con diferentes fotoperíodos), con distintas temperaturas a causa de un cambio en las temporadas de cultivo y con una diferencia de altitud de 2,600 metros. Las poblaciones segregantes se alternaron, cultivaron y seleccionaron en estos dos ambientes totalmente diferentes. Casi de inmediato comenzaron a hacerse evidentes algunos resultados inesperados de este método poco ortodoxo de mejoramiento. Pronto se observó en las generaciones F₃ y F₄ que la progenie de algunas selecciones de plantas individuales de un número reducido de cruza presentaban una madurez precoz y estaban igualmente bien adaptadas a diferentes localidades de las tierras altas de la meseta central alrededor de la Ciudad de México, de la región del Bajío en Irapuato y León y de la llanura costera de Sonora en Ciudad Obregón. Una vez que se identificó esta amplitud única de la adaptación—combinada con la madurez precoz—se intensificó la presión de selección.

Para 1948, la Princesa de la Buena Fortuna había sonreído a nuestro esfuerzo poco ortodoxo de mejoramiento alternado. Dos nuevas variedades, Yaqui 48 y Kentana 48 habían demostrado tener alto rendimiento, madurez precoz, resistencia al rompimiento de los tallos, gran resistencia a la roya del tallo y resistencia moderada a la roya de la hoja y a la roya amarilla. Gracias a esta combinación de características, las nuevas variedades se podrían cultivar con éxito, siempre y cuando se respetaran las fechas más adecuadas para la siembra, en una amplia variedad de condiciones climáticas y de suelo en



México. A causa de su insensibilidad al fotoperíodo y de la amplia base de resistencia a las royas, estas variedades y sus derivados demostraron posteriormente tener excelentes rendimientos en muchas áreas de producción en otros países en desarrollo. En los primeros años, esto facilitó las tareas de producción y distribución de semillas. Como sólo se requerirían unas cuantas variedades para satisfacer las necesidades de los agricultores comerciales, en lugar de las 12 o más que hubieran sido necesarias si se hubieran creado variedades de menor adaptación, se facilitó en gran medida la labor de los recién creados organismos nacionales de semillas de México.

En las progenies F₁ y F₂, derivadas de las cruzas entre variedades mexicanas y líneas Norin 10 x Brevor, resultó obvio que obtendríamos un nuevo tipo de trigo.

Si bien estoy convencido de la utilidad de crear materiales de amplia adaptación, no considero que los fitomejoradores deban tratar de crear una sola variedad universal, ya que esto resultaría inconveniente desde el punto de vista del deterioro y la sensibilidad a las enfermedades, así como en cuanto se refiere a tratar de optimizar el potencial de rendimiento, sobre todo en muchos suelos problemáticos. No obstante, tampoco se debe hacer hincapié en la creación de materiales con una adaptación tan reducida que sólo son adecuados a microambientes excesivamente pequeños. En este sentido, un problema crucial que se plantea a la investigación es la delimitación de los diversos ambientes de producción generales.

Mientras manipulábamos en forma empírica el fotoperíodo con nuestras técnicas de selección alternada, los Dres. Hendricks, Borthwick y Parker del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos brindaban una explicación teórica

del fenómeno. Gracias a su labor sobre el papel de la luz en la fotoperiodicidad del tallo, la floración y la producción de frutos, pudieron explicarse los principios fundamentales de la adaptación de las distintas variedades. Durante los primeros años de estudio, creyeron que uno o dos genes principales controlaban la sensibilidad a la luz del día, pero las pruebas de que se dispone hoy día indican que, si bien es probable que sólo participen dos genes principales, también existe un gran número de genes modificadores. El sistema de maduración se complica aún más por la interacción de genes que controlan la fotoperiodicidad y los que controlan la vernalización (temperaturas), lo que permite aislar una amplia gama de diferentes combinaciones genéticas.

Avance en el potencial genético de rendimiento

Si bien tuvimos éxito en combinar la madurez precoz, la resistencia a las enfermedades y la adaptación amplia en los cultivos mejorados altos, teníamos que seguir haciendo frente al obstáculo que el acame imponía en el rendimiento de grano. A medida que aumentaba el empleo de fertilizantes nitrogenados, el acame se convertía en el principal problema que limitaba el rendimiento, sobre todo en Sonora.

Durante 1952 y 1953, realizamos un esfuerzo conjunto, que lamentablemente no tuvo éxito, para encontrar fuentes apropiadas de variedades más bajas y de paja más fuerte que sirvieran de progenitoras en el programa de mejoramiento. Se revisó toda la Colección Mundial de Trigo del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos en busca de una altura y fortaleza adecuadas de la paja. A fines de 1953, me enteré de los éxitos preliminares del Dr. Orville Vogel al incorporar los genes de enanismo de la Norin 10 (un trigo de invierno japonés) a los trigos de invierno de EUA, creados por el difunto Dr. Burt Bayles, que en aquel entonces era jefe de mejoradores de trigo del Ministerio de Agricultura de Estados Unidos, con quien tengo una profunda deuda por los sabios consejos y directrices que me brindó

durante los primeros años del Programa Mexicano de Cooperación en Trigo. Le escribí al Dr. Vogel y le pedí me enviara materiales genéticos que poseyeran los genes de enanismo de la Norin 10, para usarlos como progenitores en el programa mexicano de mejoramiento de trigo de primavera. En 1953, el Dr. Vogel tuvo la amabilidad de enviarme unas cuantas semillas de tres diferentes selecciones F₂, procedentes de la cruz entre la Norin 10 y Beart y algunas semillas de cada una de las cinco plantas F₂ superiores, procedentes de la cruz de Norin 10 x Brevor.

Nuestros primeros intentos de cruzar los materiales mexicanos con los del Dr. Vogel fracasaron. Las plantas F₃ resultantes se emplearon como progenitores hembras porque su floración fue muy tardía, y como eran muy sensibles a las tres royas, murieron de inmediato sin producir semillas F₁ viables. Con las pocas semillas que nos quedaban, en 1955 hicimos un nuevo intento que tuvo éxito. En la progenie F₁ y F₂, derivada de la cruz entre trigos mexicanos y Norin 10 x Brevor, resultó obvio que obtendríamos un nuevo tipo de trigo, de rendimiento mucho mayor que lo que habíamos previsto. En las primeras generaciones, la progenie derivada de las cruces de Norin 10 x Brevor x variedades mexicanas presentaba muchos genes perjudiciales; el más obvio y que causaba mayor preocupación era el alto grado de esterilidad de los machos, sobre todo en los últimos macollos, que dio como resultado una gran cantidad de cruces promiscuas espontáneas. De hecho, la cantidad de cruces espontáneas en los primeros dos ciclos de mejoramiento fue tan grande que creó dudas sobre la fiabilidad de muchas de las genealogías. Otros defectos graves eran la calidad del grano, que invariablemente presentaba un aspecto arrugado, textura suave y gluten débil y el alto índice de sensibilidad a la roya del tallo y de la hoja introducida en la progenie por los progenitores Norin 10 x Brevor.


Se ejerció una intensa presión de selección para tratar de superar estos problemas y se hicieron diversos tipos de

cruzas. Para 1962, siete años después de haber hecho las primeras cruces que tuvieron éxito, se nombraron y lanzaron en México para su producción comercial dos derivados semienanos de alto rendimiento de la Norin 10, Pitic 62 y Pénjamo 62, con amplia base de resistencia a la roya y adaptación a una amplia gama de ambientes de producción. Si bien nuestro objetivo de investigación al utilizar los materiales semienanos era reducir la incidencia del acame, obtuvimos el beneficio inesperado de un potencial de rendimiento notablemente más alto, debido en gran parte a la asignación de una proporción mayor de la materia seca total a la producción de grano. Las variedades semienanas recién lanzadas producían rendimientos de 6-6 1/2 t/ha, en comparación con las 4-4 1/2 t/ha de los genotipos altos mexicanos mejorados que se emplearon como progenitores. Resulta evidente que los progenitores Norin 10 y Brevor introdujeron nuevos genes en las antes denominadas variedades mexicanas de "alto rendimiento", y que ambos progenitores contribuyeron a incrementar el potencial de rendimiento.

Difusión de las variedades semienanas de trigo

A partir de 1960, se lanzaron en cerca de 50 países más de 400 variedades semienanas de trigo de alto rendimiento derivadas de las cruces efectuadas en el CIMMYT. En general, estos materiales tienen mucho mejor resistencia a las enfermedades que las variedades locales a las que sustituyeron. Asimismo, producen mayor cantidad de grano que los materiales locales en condiciones de fertilidad baja y rinden hasta dos veces más que las variedades tradicionales si se cuenta con mejores condiciones de humedad y fertilizantes.

El área donde estas variedades semienanas han presentado un mejor desempeño del rendimiento es muy extensa, 50 millones de hectáreas en el mundo en desarrollo (la mitad del área total dedicada al trigo) así como cerca de 10 millones de hectáreas en las naciones desarrolladas. Las regiones



productoras de trigo en el Tercer Mundo tienen mucho en común en cuanto se refiere a su necesidad de variedades. Las royas representan el mayor problema dentro de las enfermedades, la humedad no suele ser un factor limitante y la madurez intermedia constituye el principal requisito del período de cultivo. Los materiales creados en México poseían estas características; además su insensibilidad al fotoperíodo y otras características agronómicas hacían que se adaptaran a una amplia gama de condiciones de producción. No obstante, también es probable que la cobertura actual defina los límites de estos ambientes principales de producción.

El hecho de que todavía falte por sembrar 50 millones de hectáreas con variedades mejoradas indica que serán necesarios nuevos complejos genéticos y criterios de selección más precisos para crear variedades que satisfagan los requisitos de estas áreas problemáticas que aún no han sido tocadas; entre ellos, los más importantes son suelos ácidos con altos niveles de aluminio soluble, suelos alcalinos con altos niveles de sodio y suelos de regiones de precipitación pluvial marginal. Muchos de los limitantes de la producción en estas zonas se están superando con las investigaciones más recientes. Por ejemplo, como resultado de un programa conjunto de mejoramiento entre el CIMMYT y EMBRAPA, Fecotrigo y OCEPAR de Brasil, se han creado variedades de alto rendimiento con tolerancia al aluminio soluble.

Creación de materiales de maíz de alto rendimiento

En los trópicos y subtropicos, las variedades locales de maíz padecían un problema semejante al de los tipos tradicionales de trigo. Producían una gran cantidad de hojas, crecían mucho y tendían a acamarse excesivamente si se les cultivaba bajo condiciones agronómicas mejoradas. En comparación con los materiales de la Faja Maicera de EUA, los materiales de maíz tropical presentaban índices de cosecha muy bajos; cerca de las dos terceras partes de la materia seca total correspondía a la

paja y no al grano. El CIMMYT ha hecho importantes contribuciones para mejorar los índices de cosecha de los materiales de maíz tropical y subtropical, entre las que destacan los esfuerzos del Centro en el mejoramiento de poblaciones de maíz para crear variedades de alto rendimiento y polinización libre, que han dado como resultado la creación de variedades más eficaces en cuanto se refiere al grano y rendimiento más fiable; los agricultores pueden guardar las semillas de estas variedades para sembrarlas en la siguiente época de cultivo sin que pierdan su vigor.

Aunque se ha empleado un esquema de selección recurrente (en vez de introducir un gen de enanismo) como base para redistribuir el peso total de materia seca y obtener una mayor producción de grano en el maíz, los resultados son prácticamente los mismos: los maíces mejorados poseen un potencial genético de rendimiento mucho más alto que las variedades locales tradicionales. Un sistema de pruebas alternadas en diversas localidades, puesto en práctica primero en México y luego en docenas de países, amplió la adaptación de estos materiales de maíz, no sólo desde el punto de vista de la insensibilidad al fotoperíodo, sino también en cuanto se refiere a la resistencia a importantes enfermedades foliares y a determinadas clases de insectos. Como consecuencia de este trabajo, se han introducido nuevas fuentes de variabilidad genética en los programas nacionales de mejoramiento de maíz; se trata de germoplasma que se puede usar con facilidad, y que de hecho se utiliza, para mejorar los materiales locales. El germoplasma de maíz creado con esta metodología de mejoramiento es el resultado de la colaboración con los científicos nacionales de todo el mundo en vías de desarrollo. Esta sociedad ha producido 1,000 variedades experimentales y 30 gobiernos nacionales han lanzado cerca de 150 de ellas para su cultivo comercial.

Maíz con calidad proteínica

El descubrimiento del valor nutritivo mejorado del maíz opaco-2 en la

Universidad Purdue en 1963 anunció un período de intensa actividad encaminada a crear variedades e híbridos de maíz con altos niveles de lisina y triptofano. La euforia dio paso a la frustración y casi todas las compañías de semillas de maíz del sector privado, así como los programas gubernamentales y universitarios abandonaron este esfuerzo a medida que se descubrieron características desfavorables relacionadas con el gen *opaco-2*.

El programa de mejoramiento del CIMMYT, gracias a la estrecha colaboración entre genetistas mejoradores y bioquímicos, ha podido superar en forma gradual los problemas, y ha creado diversas variedades de polinización libre de maíz con calidad proteínica (QPM), que presentan alto rendimiento de grano, granos de textura dura (cristalinos o dentados) y resistencia adecuada a insectos y enfermedades. Este trabajo ha demostrado que es posible superar las características negativas relacionadas con altos niveles de lisina y triptofano (gen *opaco-2*) y el bajo rendimiento de grano, la textura suave del grano y la sensibilidad a las pudriciones de la mazorca. En la actualidad, el CIMMYT dedica parte de sus esfuerzos a la creación de variedades híbridas de maíz QPM. En Guatemala y China se cultivan comercialmente algunas de estas variedades.

En mi opinión, la creación, aceptación y uso de variedades QPM se encuentra en una posición semejante a la de las variedades semienanas de trigo hace 20 años en India, Pakistán y el Ministerio de Agricultura de EUA, cuando un sinnúmero de escépticos escandalosos afirmaban que nunca serían aceptadas. Empero, veamos lo que ha sucedido en los últimos 15 años. Estoy seguro de que en los próximos años el QPM también verá llegar su día.


El nuevo cultivo: Triticale

El triticale (*X. Triticosecale* Wittmack) es una especie anfiploide, creada mediante una cruce entre el trigo y el centeno (*Secale cereale*), en la que usaron variedades duras (*Triticum turgidum* var. *durum*) o harinosas de trigo como

progenitoras. Este nuevo cereal creado por el hombre, que hoy día promete convertirse en un importante cultivo alimenticio y de forraje en muchas áreas del mundo durante los próximos 10 años, se siembra actualmente en un mínimo de 10 países donde abarca una superficie de cerca de un millón de hectáreas.

El CIMMYT heredó un pequeño programa de investigación sobre el triticale de la organización que lo procedió. En aquel entonces, todos los triticales eran altos, de madurez tardía, presentaban elevados índices de esterilidad y el grano que producían tenía un aspecto arrugado. El CIMMYT estableció un extenso programa de base amplia para superar estos defectos. A pesar de las críticas que despertó el programa y la predicción de algunos científicos teóricos de que estos defectos, en especial la esterilidad y el aspecto arrugado del grano, no podrían superarse nunca, se han ido venciendo gradualmente y el triticale se está transformando en un cultivo comercial en ciertos países del mundo. En cuanto al rendimiento del grano, es muy superior al trigo en suelos ácidos, sobre todo en aquellos que presentan altos niveles de aluminio soluble. Sin embargo, en muchas regiones de suelos adecuados, como los del Estado de Sonora, México, rinde tanto como las mejores variedades de trigo harinero. En la Unión Soviética, Polonia, Australia, España, Francia, Alemania Occidental, Canadá, EUA, Argentina y México, donde se cultiva la mayor parte de la superficie dedicada a la explotación comercial del triticale, se emplea básicamente como grano de forraje. La harina de triticale (a diferencia de la harina de trigo duro) produce pan de excelente calidad si se mezcla con harina de trigo harinero y se maneja la masa en forma apropiada durante la fermentación.

La resistencia del triticale a ciertos agentes patógenos es también significativa, sobre todo en México. En los últimos años, en ciertas épocas en que las condiciones ambientales favorecen las infecciones graves con



Neovossia indica, el agente patógeno del carbón parcial, el nivel de infección del grano en las variedades de trigo harinero es tan alto que afecta negativamente el olor y sabor de la harina y el pan. En estas mismas condiciones, el grano de las variedades de trigo duro y de las variedades de triticale está completamente libre de dicho carbón o sólo muestra niveles ligeros de infección. Puesto que resulta muy difícil combinar harina de trigo duro con trigo harinero y elaborar buen pan, el triticale es una alternativa viable en las mezclas con trigo harinero.

El CIMMYT es conocido por sus contribuciones fitogenéticas, pero el germoplasma mejorado es sólo su tarjeta de presentación.

Investigación sobre el trigo duro

El trigo duro se utiliza sobre todo en la producción de pastas y galletas. Si bien este grano se cultiva en cerca del 10% de la superficie mundial dedicada al trigo, quizá no más del 1% de la labor de mejoramiento sobre el trigo se ha dedicado a esta especie. Y aunque los genes del enanismo Norin 10 fueron transferidos tanto al trigo harinero mexicano como a variedades de trigo duro en 1955, debido a la falta de mano de obra, la principal labor en los primeros años se concentró en la creación de variedades de trigo. Para 1967-68, era evidente que las nuevas variedades semienanas mejoradas de trigo duro tenían un inusitado potencial de rendimiento, aunque todavía presentaban esterilidad parcial y granos arrugados. Poco a poco estos defectos han sido corregidos y hoy día existen variedades semienanas de madurez precoz con buenas propiedades de molienda y para producir pasta. Si bien estas variedades de trigo duro rinden tanto como los mejores trigos harineros en condiciones de riego y de temporal, poseen una adaptación más limitada que los trigos harineros semienanos.

Asimismo, los trigos duros de hoy son más sensibles que los trigos harineros a *Fusarium*, *Septoria* y *Helminthosporium*, pero son más resistentes al carbón parcial o son inmunes.

Hoy día, los trigos duros semienanos derivados del CIMMYT se cultivan comercialmente en México, Chile, Argentina, Argelia, Túnez, Turquía, Iraq e India, y también en países desarrollados como Italia, España, Australia, Francia y EUA. Es probable que si se amplía la base de germoplasma y se ejerce una intensa presión de selección en las poblaciones segregantes, se generen nuevas variedades que combinen una mayor adaptación con una mejor resistencia a las enfermedades y la sequía. Además, como los triticales más prometedores del CIMMYT son derivados de cruces de trigo duro x centeno, un vigoroso programa de mejoramiento de trigo duro que suministre variedades progenitoras mejoradas de trigo duro al programa de mejoramiento de triticale es un elemento sumamente importante.

Investigación sobre la producción de cultivos

El CIMMYT por tradición orienta sus investigaciones a los agricultores. Si bien el Centro es famoso por sus contribuciones al fitomejoramiento, el germoplasma mejorado no es, en realidad, sino la tarjeta de presentación del Centro. Estamos conscientes de la necesidad de mejorar el manejo de cultivos en diferentes partes del mundo y hemos colaborado con los científicos de los programas nacionales en investigaciones de ese tipo. Si bien las variedades de alto rendimiento han actuado como catalizador en la introducción de tecnología agrícola de mayor rendimiento, las contribuciones de la agronomía mejorada, en especial la relacionada con el empleo de fertilizantes, riego y control de malezas, son de vital importancia para alcanzar los resultados que se han logrado en la producción de alimentos del Tercer Mundo.

Desde su fundación, el CIMMYT ha tratado de emplear especialistas en el manejo de cultivos que estén

familiarizados con una amplia gama de factores de producción, por ejemplo, fitomejoramiento, agronomía, manejo de agua, ciencia de la maleza, patología, entomología y economía. Estos especialistas en el manejo de cultivos forman parte de los programas de cultivos y trabajan mano a mano con mejoradores y economistas para solucionar problemas comunes. Semejante integración de las distintas disciplinas que participan en la investigación ha resultado de gran utilidad y ha ayudado al CIMMYT a mejorar la producción y productividad de los cultivos de cereales en casi todo el Tercer Mundo. La labor inicial de investigación agronómica en México, el programa de agronomía del trigo en Turquía, los primeros tiempos en India y Pakistán cuando se introdujeron las primeras variedades semienanas de trigo, la difusión de variedades e híbridos mejorados de maíz en el sureste asiático y en América Central y, últimamente, los éxitos alcanzados en la producción de trigo en el cono Sur, constituyen ejemplos de las campañas nacionales de producción en las que el personal del CIMMYT ha desempeñado un papel de gran importancia debido a su participación en la investigación.

En el curso de su colaboración con los programas nacionales en las investigaciones sobre el manejo de cultivos, el CIMMYT también ha desempeñado un papel preponderante en la creación de procedimientos más eficaces de investigación, en los que colaboran biólogos y economistas. Los procedimientos subrayan la importancia de la experimentación en fincas, puesto que las condiciones de producción de la mayor parte de las estaciones experimentales no representan adecuadamente las condiciones a las que tiene que hacer frente el agricultor, en particular el de recursos limitados.

Contribuciones institucionales del CIMMYT


Las innovaciones institucionales del CIMMYT, en especial la creación de sistemas internacionales de prueba de germoplasma, los programas de cursos

en servicio y los esfuerzos realizados por el Centro para crear redes mundiales y regionales que faciliten el intercambio de información, han dado excelentes resultados y han contribuido en gran medida a colocar la investigación de maíz y trigo en una base más sólida a nivel mundial. Considero pertinente una breve revisión de cada una de estas actividades.

Pruebas internacionales

En 1950, comenzó una serie de epifitias de roya del tallo (*Puccinia graminis*), que ocurrió en cuatro años sucesivos y asoló el cultivo de trigo en EUA y Canadá; alcanzó su punto culminante de destrucción en 1954, año en que acabó con el 75% del cultivo de trigo duro y una porción considerable del cultivo de trigo harinero. La causa primaria de estas epifitias fue la virulenta raza 15B, que pudo destruir todas las variedades comerciales de trigo duro y harinero. Una raza parecida a la 15B se difundió simultáneamente en América Latina. La respuesta normal a una epifitia semejante consiste en someter rápidamente a prueba líneas de trigo para identificar las fuentes de resistencia a la nueva raza de organismos patógenos; se multiplica la semilla de las líneas resistentes en cuanto son identificadas, al mismo tiempo que se siguen cruzando para formar una pirámide y ampliar la cantidad de genes que confieren la resistencia. Una raza tan virulenta como la 15B requiere la mayor cantidad posible de pruebas en el menor tiempo posible.

Una catástrofe de esta magnitud obligó a los científicos a buscar nuevas soluciones, y de la crisis surgieron iniciativas, principalmente bajo la dirección de los difuntos Dres. H.A. Rodenheiser y E.C. Stakman, que siguen beneficiando a la agricultura mundial. En 1950, el Ministerio de Agricultura de EUA pidió a siete países, México, Colombia, Ecuador, Perú, Chile, Argentina y Canadá, que se le unieran para someter a prueba 1,000 líneas de trigo seleccionadas de la Colección Mundial de Trigo de EUA, así como algunas líneas de generaciones avanzadas, provenientes de diversos



programas de mejoramiento, como posibles fuentes de resistencia a la raza 15B. La organización antecesora del CIMMYT en México participó activamente y contribuyó una gran cantidad de líneas de su programa de mejoramiento. Estas 1,000 líneas de trigo se expusieron a las poblaciones de roya del tallo presentes en los países participantes. Los resultados obtenidos con este primer Vivero Internacional de Roya del Tallo superaron todas las esperanzas concebidas y hoy día es posible rastrear gran parte de la resistencia a la roya del tallo que contienen los trigos comerciales a los materiales de mejoramiento identificados en esos primeros viveros.

Este esfuerzo de cooperación internacional brindó otros beneficios indirectos de mayor importancia que la identificación de germoplasma con resistencia a la raza 15B de roya del tallo. Comenzaba a formarse un nuevo mecanismo para la prueba en gran escala de germoplasma, primero con trigo y después con muchos otros cultivos alimenticios. Antes del primer Vivero Internacional de Roya del Tallo, muchos mejoradores se mostraban renuentes a proporcionar a sus colegas líneas avanzadas de sus programas de mejoramiento por temor a que las nuevas variedades se nombraran y lanzaran sin dar el reconocimiento merecido al mejorador u organización responsable. Asimismo, era muy raro que se proporcionaran a otros científicos materiales de segregación de las primeras generaciones.

En 1959, cuando el programa de México-FR se hizo voluntario para organizar, preparar y distribuir el Vivero Interamericano de Rendimiento de Trigo de Primavera, se llevó a cabo el primer intento de establecer un Vivero Cooperativo Internacional de Rendimiento de Trigo. Este vivero incluía las variedades comerciales más importantes de trigo de primavera que se cultivaban en los dos continentes, así como cierto número de líneas de mejoramiento prometedoras, provenientes de

programas de México, Canadá, EUA, Colombia, Chile, Argentina y Brasil. El vivero se cultivó en Canadá, EUA, México, Guatemala, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Paraguay, Chile, Argentina, Brasil y Uruguay, y demostró claramente la amplia adaptación de las variedades mexicanas en comparación con la adaptación limitada en diferentes latitudes de las variedades de fotoperíodo largo de Canadá, EUA y Argentina.

En 1961, aprovechando la experiencia del Vivero Interamericano de Rendimiento de Trigo de Primavera, se organizó en México el Vivero Mexicano y del Medio Oriente de rendimiento de Trigo de Primavera como parte de los ejercicios de capacitación del programa de cursos en servicio para trigo del Norte de África/Cercano Oriente/Medio Oriente, patrocinado por la FAO y por la FR. El vivero incluía las variedades comerciales importantes de los países del Norte de África, del Cercano y el Medio Oriente y de México, así como dos variedades de fotoperíodo largo, Thatcher y Selkirk, procedentes de Minnesota y Canadá, respectivamente, y varias nuevas líneas semienanas prometedoras procedentes de México. Dos años después, el Vivero Interamericano de Rendimiento de Trigo de Primavera y el Vivero Mexicano y del Medio Oriente de Rendimiento se combinaron para formar el Vivero Internacional de Rendimiento de Trigo de Primavera, que continúa hasta la fecha y cuya información constituye, para los científicos que la emplean con inteligencia, una guía invaluable para orientar sus programas de mejoramiento.

Hoy día, el CIMMYT es el centro de los más amplios sistemas de distribución y prueba de germoplasma del mundo. Cada año se envían más de un millón de paquetes de semilla experimental, que contiene cantidades importantes de variabilidad genética nueva y útil, a los fitomejoradores de más de 120 países. Los resultados de estos ensayos de viveros se registran en cada una de las localidades donde se llevan a cabo las pruebas y después se envían al CIMMYT para el procesamiento y análisis de los

datos. Posteriormente, los resultados del vivero internacional de cada año se compilan, publican y distribuyen ampliamente entre los grupos de científicos de maíz y trigo. Por otra parte, los bancos de germoplasma del CIMMYT, que se cuentan entre los más grandes y mejor conservados del mundo, proporcionan miles de muestras de semillas a solicitud de los científicos de todo el mundo.

Las pruebas internacionales acabaron con las barreras psicológicas que tendían a mantener separadas los esfuerzos de los distintos fitomejoradores. El hecho de que cualquier línea sometida a una prueba internacional podría ser utilizada por los científicos participantes para fines de mejoramiento o para distribuirla como una variedad comercial, dando el reconocimiento merecido a la fuente del material, se convirtió en una política aceptada en todo el mundo. Las pruebas internacionales sirvieron no sólo para introducir variabilidad genética nueva en las actividades nacionales de mejoramiento, sino que también brindaron a los mejoradores individuales un sistema internacional para evaluar la adaptación y estabilidad de la resistencia a las enfermedades de los nuevos materiales prometedores en un sinnúmero de ambientes diferentes al mismo tiempo. Creo justo afirmar que el surgimiento de las pruebas internacionales señaló el principio de la era moderna en el fitomejoramiento.

Capacitación y la formación de líderes

El CIMMYT ha dado siempre gran importancia a la capacitación y la formación de líderes, con las que respalda a las instituciones nacionales de investigación que colaboran con él. El Centro cuenta en la actualidad con cerca de 4,000 investigadores de 120 países, que participan en sus cursos en servicio, tanto en la sede como fuera de México, y en su programa de becas para científicos visitantes, estudiantes de posgrado y de pre y posdoctorado. En estas actividades de capacitación, el CIMMYT ha tratado de complementar la formación teórica que los investigadores agrícolas reciben en las universidades y

escuelas técnicas. En el CIMMYT, la capacitación se centra en la realización de tareas de investigación. Este método ha tenido un efecto motivador positivo en los estudiantes y en los investigadores. Cuando los científicos trabajan, luchan, sudan y triunfan juntos, generan lazos de mutuo respeto y amistad y, en el proceso, crean una fraternidad mundial de fitomejoradores dedicados a incrementar la producción de alimentos y a mejorar la distribución equitativa de sus beneficios.

Creación de sistemas de información científica

Un elemento esencial en el éxito del CIMMYT han sido las estrechas relaciones de trabajo con los científicos de los programas nacionales. La construcción de la fraternidad mundial de científicos que trabajan en el trigo y el maíz implica constantes viajes del personal de la sede del CIMMYT a las parcelas de investigación de los colaboradores nacionales; además hay que proporcionar capacitación y becas a los científicos de los países en desarrollo para que viajen a México y ayuden a la obtención de fondos para becas de posgrado y a la distribución de información científica útil, generalmente en forma gratuita.

En los primeros tiempos, el personal residente en México efectuaba la mayor parte de los viajes a los países colaboradores, visitando, varias veces al año, a los investigadores, administradores y encargados de elaborar las políticas de muchos países. Sin embargo, a medida que el número de países con los que el CIMMYT sostenía relaciones de investigación pasó de 60 a más de 120, fue necesario crear nuevos mecanismos institucionales a fin de manejar con mayor eficacia las nuevas relaciones más extensas. Hoy día, la mitad del personal científico del CIMMYT se encuentra en los programas regionales y una gran parte de sus actividades es muy semejante a lo que trataba de llevar a cabo el personal del CIMMYT que antes viajaba fuera de México. No obstante, la principal ventaja del concepto de programas regionales es

que el CIMMYT cuenta con representantes que viven y trabajan en las principales regiones donde se cultivan maíz y trigo en el mundo en desarrollo. Los lazos de unión con los programas nacionales se han fortalecido gracias al contacto frecuente y a la mayor comprensión de los problemas y oportunidades de la investigación.

Incremento de la disponibilidad de alimentos y la productividad agrícola

Las contribuciones del CIMMYT a una mayor productividad agrícola están inevitablemente ligadas a los esfuerzos de muchos científicos, especialistas en producción, extensionistas, encargados de elaborar las políticas y agricultores. En cuanto a la creación de germoplasma, el personal del Centro ha colaborado con los programas nacionales de investigación; aún cuando las variedades que han surgido de este trabajo son productos colectivos, el CIMMYT no tiene intención de nombrar ni lanzar variedades, ya que esta actividad es responsabilidad de los programas nacionales de investigación de cultivos y certificación de semillas. Por otra parte, los resultados obtenidos a nivel de fincas son consecuencia de muchos otros factores además de las variedades mejoradas. La agronomía mejorada, gracias a un empleo más adecuado de los fertilizantes y el agua (de lluvia o de riego), protección de las plantas y mayores incentivos mediante

las políticas, ha desempeñado un importante papel en los avances en la productividad efectuados por los agricultores del Tercer Mundo en los últimos años.

La revolución verde

El CIMMYT nació en medio de una crisis mundial en la producción de alimentos y fue en gran parte una consecuencia de ésta. La crisis se centró en Asia y se produjo a mediados de los años 60. Como los países carecían de divisas para importar alimentos, se hacían terribles predicciones de que si no se les daba ayuda alimentaria constante, los países de la región tendrían que hacer frente a hambrunas continuas y cada vez peores. Los dirigentes políticos, que se encontraban con la espalda contra la pared, se mostraron favorables al entonces radical consejo de un puñado de científicos que propugnaban la introducción de las nuevas tecnologías de trigo y arroz de alto rendimiento desarrolladas en México y Filipinas. Haciendo a un lado el consejo de ciertos investigadores locales, los líderes nacionales de India y Pakistán tomaron riesgos calculados y, después de cuatro años de extensas pruebas en fincas, decidieron embarcarse en un importante programa de producción para introducir con la mayor rapidez posible las nuevas tecnologías de semillas y fertilizantes. Cuando los agricultores comenzaron a ver los rendimientos de las nuevas variedades de trigo y arroz (y de las prácticas mejoradas) en parcelas de

Cuadro 1. Superficie sembrada con variedades de trigo y arroz de alto rendimiento.

Región	Trigo		Arroz	
	Área (m/ha)	Proporción (%)	Área (m/ha)	Proporción (%)
Asia, econ. de merc. des.	25.4	79.2	36.4	44.9
Norte de África/Medio Oriente	7.6	30.6	30.6	8.4
África al Sur del Sahara	0.5	50.6	0.2	29.6
Asia, econ. cent. plan.	8.9	30.6	33.4	81.0
América Latina	8.3	77.6	2.5	32.9
Total	50.7	51.9	72.6	53.6

Fuente: Dalrymple, 1986.

demonstración de sus propias fincas, se convirtieron en partidarios convencidos de la adopción en gran escala de tales tecnologías. La difusión de estas nuevas variedades de arroz y trigo no tiene paralelo en la historia de la agricultura (cuadro 1), con la excepción de la difusión del maíz híbrido en los países de las regiones templadas durante los años 40, 50 y 60.

Las cada vez mayores inversiones en la investigación agrícola y en las infraestructuras rurales han ayudado a más que duplicar la producción maicera en el Tercer Mundo y a más que triplicar la producción triguera en los últimos 20 años. La producción triguera en la India ha experimentado un aumento del 400% en ese mismo período. Un poco menos que el 50% del incremento en la producción de maíz y el 65% del aumento de la producción de trigo son el resultado de niveles más altos de rendimiento. Durante los últimos 20 años, la producción per cápita de ambos cereales en el Tercer Mundo ha aumentado más rápidamente que la población, con un 30% de aumento para el maíz y un 70% en el caso del trigo. La producción per cápita de maíz se ha destinado en primer lugar para alimentar ganado y aves de corral, en tanto que el consumo directo de este grano se ha mantenido constante en un 8% del total de calorías. En el caso del trigo, la producción per cápita en los países en desarrollo ha resultado en un marcado incremento en la importancia de este cereal en la dieta humana. De 1961 a

1965, el trigo representó el 16% del total de calorías en la dieta humana; para 1981 a 1984, había aumentado a un 26% (cuadro 2).

Las especies vegetales son apolíticas. No se les puede obligar a que rindan más en una pequeña parcela de tierra que en una extensión más grande de terreno.

Si estos indicadores de la producción del Tercer Mundo se desglosan en estadísticas regionales, resulta evidente que el progreso en el desarrollo agrícola entre 1961 a 1965 y 1981 a 1984 no ha sido uniforme en todas las regiones (cuadro 3). En primer lugar, el desempeño en China ha sido espectacular, pues presenta índices anuales de crecimiento de 7% en trigo y de 5.8% en maíz durante este período de 20 años. Asimismo, se han registrado importantes índices de crecimiento en las economías de mercado en desarrollo de Asia. En la mayor parte de América Latina, con la excepción de los países andinos, el incremento en la producción de trigo y maíz ha excedido el crecimiento demográfico. En el Medio Oriente, la producción triguera apenas se ha mantenido al mismo nivel que el aumento en población y ha disminuido el consumo per cápita de maíz. En el norte de Africa, el incremento de los

Cuadro 2. Porcentaje de aumento en los indicadores de desempeño para maíz y trigo en el mundo en desarrollo de 1961-65 a 1981-84.

	Porcentaje de aumento 1961-65 a 1981-83	
	Maíz	Trigo
Producción total, países en desarrollo	101	160
Rendimiento medio	48	97
Producción per cápita	30	70
% del total de calorías en la dieta, 1961-65	8	18
% del total de calorías en la dieta, 1979-81	8	26

Fuente: 1984 CIMMYT Maize Facts and Trends; 1985 CIMMYT Wheat Facts and Trends.

rendimientos de trigo ha sido lento, aunque los rendimientos de maíz han aumentado un 2.3% al año. África Occidental ha presentado aumentos muy bajos tanto en los rendimientos de maíz como en los de trigo. La producción de maíz y trigo ha superado la tasa de crecimiento demográfico sólo en unos cuantos países del sur y el este de África.

Críticos de la revolución verde

A pesar de los tremendos aumentos de la producción en muchos países en desarrollo en un breve período, las tecnologías de la revolución verde han sido un tema de intensa controversia desde su introducción. Muchos de los primeros informes describieron las nuevas tecnologías de trigo y arroz como una transferencia tecnológica masiva de los sistemas agrícolas de alto rendimiento de las zonas templadas a los campesinos del Tercer Mundo. Sin embargo, no era verdad; sería más exacto emplear el término "revolución verde" para identificar el principio de una nueva era en la investigación y desarrollo agrícolas, que continúa hasta la fecha, y en la que se aplican modernos principios de genética y

fitomejoramiento, agronomía, fitopatología, entomología y economía en la creación de tecnologías nativas, adecuadas a las condiciones de los agricultores del Tercer Mundo.

La característica verdaderamente importante de las tecnologías de la revolución verde es que eran eficaces en cuanto a los costos, que incrementaban el rendimiento y que aumentaban la superficie bajo cultivo. La introducción de esta nueva tecnología, combinada con incentivos adecuados establecidos por las políticas, dio como resultado importantes incrementos de la productividad y ayudó a evitar hambrunas de enormes proporciones. La combinación de nuevas variedades y tecnologías de producción de mayor rendimiento ha hecho posible que los agricultores, grandes y pequeños, aumenten su producción agrícola total con niveles más altos de rendimiento y la posibilidad de incrementar la intensidad de cultivo. Además de las políticas económicas favorables, los agricultores tenían incentivos para producir excedentes con fines comerciales. Estas innovaciones dieron por resultado no sólo mayores niveles de ingresos para los

Cuadro 3. Distribución de la producción y tasas de aumento del rendimiento y la producción, por regiones, en los países en desarrollo (PED).

Región	Trigo			Maíz		
	% del total de prod.PED 1984	Aumento 1961-65 a 1982-84		% del total de prod.PED 1984	Aumento 1961-65 a 1981-83	
		Rend. (%)	Prod. (%)		Rend. (%)	Prod. (%)
Asia, econ. de merc. des.	28	3.7	6.3	13	1.6	3.0
Asia, econ. cent. plan.	43	4.2	7.0	42	5.2	5.8
Medio Oriente	14	2.2	3.0	2	1.7	1.8
Norte de África	3	1.1	1.0	2	2.3	2.3
África Occ.		0.3	2.0	3	0	1.5
E. y S. de África	..	3.0	2.5	7	1.3	2.7
México, Am.C, Caribe	2	3.1	4.1	11	2.5	2.8
Países andinos	.	1.1	1.0	2	1.7	0.9
Países del Cono Sur	8	1.1	2.7	18	2.1	3.8

... menos del 1%

agricultores, sino que ayudaron a reducir los costos por unidad de producción. Estos sistemas agrícolas más productivos desembocaron en la creación de nuevas industrias rurales y nuevas fuentes de empleo. Sin embargo, los consumidores fueron los beneficiarios absolutos más importantes, en especial las clases bajas urbanas y rurales, cuya dieta depende en gran parte de los cereales. Como la producción per cápita ha aumentado en el caso del arroz, el trigo y el maíz, se ha reducido considerablemente el índice de aumento en los precios de estos alimentos, hecho que hace posible una mejor nutrición y, en consecuencia, mayor bienestar social para cientos de millones de personas de bajos ingresos.


Se han hecho varias críticas de las tecnologías de la revolución verde; al principio, los pesimistas dijeron que ya era demasiado tarde para los países sobrepoblados, que la situación en países como India y Bangladesh era irremediable y que las naciones ricas sólo empeorarían las cosas a largo plazo si trataban de aliviar el sufrimiento a corto plazo. Este grupo comparaba la Tierra con un bote salvavidas de cupo limitado. Además, consideraba que los esfuerzos de asistencia internacional mediante la investigación agrícola sólo fomentarían un crecimiento adicional de la población que, a su vez, resultaría más adelante en un desastre de proporciones mayores.

Comparto la preocupación por los altos índices de crecimiento demográfico que imperan en muchos países en desarrollo y por los efectos que este crecimiento tiene sobre el desarrollo económico y la calidad del medio ambiente, pero el argumento del bote salvavidas era y es prematuro, ya que no hemos sobrepasado la capacidad de la Tierra. En realidad existen por lo menos dos botes salvavidas y quizá más. Un bote lleva sólo el 20% de los habitantes del mundo, los que viven en las naciones desarrolladas, y que, en términos relativos, tienen pasaje de primera clase. El otro bote, cada vez más sobrecargado y lleno de fugas, lleva al 80% restante de la población mundial, la

correspondiente al mundo en desarrollo. Resulta cruelmente insensible y corto de miras que aquellos que tienen pasaje de primera clase, con gran cantidad de espacio para admitir nuevos pasajeros, sean los primeros en gritar que la ciencia debe volver la espalda a los problemas de la mayor parte de la humanidad. Si este punto de vista prevaleciera durante mucho tiempo, provocaría una rebelión social sin límite y, con toda probabilidad, la caída de la civilización actual.

En retrospectiva, las predicciones de catástrofe que emitió este grupo de Casandras a principios del decenio de 1970, creo yo, han contribuido en forma irresponsable al presente desastre en los mercados mundiales de productos agrícolas, energéticos y minerales. Demasiadas naciones e individuos han tenido una reacción excesiva a los sermones de los que decían que el mundo había perdido la capacidad de producir suficientes alimentos, fibras, energía y minerales para satisfacer las necesidades de la creciente población. Estos sermones al parecer justificaban las políticas agrarias que han causado la sobreproducción actual, tan desastrosa para los agricultores tanto de los países en desarrollo como de los desarrollados. ¡Qué precio tan alto ha tenido que pagar el mundo por haber escuchado a estos falsos profetas!

Otra corriente importante de críticas a la revolución verde sostenía que la introducción de nuevas tecnologías de semillas y fertilizantes sólo contribuiría a empeorar la distribución del ingreso y la riqueza, a menos que se diera primero una redistribución de los medios de producción. Los críticos de esta escuela afirmaban que las tecnologías de maíz y trigo de alto rendimiento sólo eran adecuadas para los terratenientes ricos, capaces de costear la semilla, fertilizante y sistema de riego necesarios para obtener el máximo potencial de rendimiento. Por supuesto, era cierto que las nuevas tecnologías aumentaban los costos de producción por unidad de área cultivada, pero lo que parece ignorarse en esta ecuación es el hecho de que las nuevas tecnologías incrementaban la



producción en una proporción mucho mayor que el costo de los nuevos insumos. También se ha acusado a las tecnologías de la revolución verde de acelerar el desplazamiento de la mano de obra fuera de las zonas rurales, porque fomentan la mecanización; si bien esto es cierto en parte respecto a algunas categorías de empleos, también es verdad que las nuevas tecnologías incrementaron en gran medida las oportunidades de empleo en otros sectores laborales; en otras palabras, el efecto neto sobre el empleo rural fue muy positivo.

ecosistemas (tierra) persisten en la agricultura de hoy y son más evidentes en los países muy poblados donde muchas familias de agricultores se han visto relegadas a tierras semiáridas marginales de pobreza notoria y sobrevivencia precaria.

No cabe duda de que los éxitos espectaculares de las nuevas tecnologías de semillas y fertilizantes para maíz y trigo, restaron importancia a muchos problemas económicos y sociales fundamentales, relacionados con la distribución del ingreso en el Tercer Mundo. En este sentido, es probable que se hayan hecho a un lado ciertas actividades de desarrollo encaminadas a corregir graves desigualdades en la tenencia de la tierra y a redistribuir más equitativamente los medios nacionales de producción. No obstante, en la actualidad está bien documentado el hecho de que los pequeños agricultores, con rezagos muy breves, adoptaron las nuevas tecnologías de semillas y fertilizantes casi con la misma rapidez que los grandes terratenientes. Como los pequeños agricultores tienen menos capacidad de arriesgarse, probablemente fue conveniente que los grandes terratenientes hayan sido los primeros en probar las nuevas tecnologías, ya que ellos sí podían darse el lujo de arriesgarse. Si bien los dos grupos obtuvieron, en términos proporcionales, los mismos beneficios, es obvio que los que poseían más recursos recibieron más beneficios en un sentido absoluto.

No cabe duda de que en aquellos países donde la distribución de recursos es sumamente desigual, no es probable que el crecimiento económico y la estabilidad social a largo plazo se sostengan sin el respaldo de medidas políticas y económicas dirigidas a remediar tales desequilibrios. Sin embargo, se trata de un problema que la ciencia y la tecnología no pueden solucionar. Las especies vegetales son criaturas apolíticas; no se les puede forzar a que rindan 10 veces más en una pequeña parcela de tierra que en una extensión más grande de terreno en la que se

Los productos agroquímicos y los fertilizantes indispensables para producir los alimentos que requiere la población mundial son como medicamentos que tienen que utilizarse con las debidas precauciones.

En muchos casos, los críticos de la revolución verde han sido intelectuales utópicos que hablan desde la posición privilegiada de sus torres de marfil. Estas personas nunca han tenido hambre ni han convivido ni trabajado con gente que vive en la pobreza extrema. Parecen comunicar la impresión de que la ciencia y la tecnología, si se organizaran en forma debida, podrían corregir todos los males y desigualdades sociales que se han acumulado desde el tiempo de Adán y Eva. No reconocen que ya había desigualdad en las sociedades recolectoras y cazadoras que precedieron la invención de la sociedad agrícola. En esas épocas, las tribus más fuertes ocupaban los mejores ecosistemas de pastoreo, los cuales, a su vez, sostenían las mayores poblaciones de grandes animales ungulados. Las tribus más débiles quedaban relegadas a los espacios ecológicos y lugares de caza menos favorecidos. Estas desigualdades en la productividad potencial de los

emplea la misma tecnología. Remediar las desigualdades sociales es una tarea que deben llevar a cabo los políticos del mundo, no la comunidad de investigación agrícola.


En años recientes, algunos miembros del movimiento ecológico se han convertido en críticos de la revolución verde; el fundamento de estas críticas presenta un sesgo distintivo contra la tecnología, combinado a menudo con un punto de vista idealizado de la agricultura del campesino, como una armonía entre el hombre y la naturaleza. Los argumentos que presentan los defensores de esta corriente incluyen a menudo la idea de conspiraciones entre científicos y compañías que fabrican productos agroquímicos y maquinaria agrícola. Nos acusan de tratar de "enviciar" a los agricultores con tecnologías de producción intensivas en energía, que no son económica ni ambientalmente sostenibles. En su opinión, el empleo cada vez mayor de fertilizantes químicos, pesticidas, herbicidas, sistemas de irrigación con bombas y maquinaria agrícola es intrínsecamente perjudicial para el Tercer Mundo. Como alternativa, se ofrecen las virtudes de formas más "orgánicas" de agricultura como la mejor manera de preservar la viabilidad a largo plazo de las tierras cultivables y los agricultores del Tercer Mundo.

Quizá el factor individual más importante que limita el rendimiento de los cultivos en el mundo en desarrollo es la infertilidad del suelo, causada ya sea por una infertilidad natural pre agrícola, prácticas de agricultura que agotan los elementos del suelo o deficiencias de los elementos primarios, secundarios y menores, ocasionadas por prácticas de agricultura intensiva. La reducción de la superficie cultivable per cápita en los países densamente poblados que presentan déficits alimentarios ha hecho imposible dejar de cultivar la tierra para dedicarla a la rotación de cultivos de abono verde y así ayudar a restablecer en forma orgánica la fertilidad del suelo. Por fortuna, la fertilidad del suelo se puede restablecer en forma segura y

eficaz si se emplea la cantidad y los tipos correctos de fertilizantes químicos, dependiendo de las necesidades de los distintos cultivos, tipos de suelos y ambientes. Si no se restablece la fertilidad del suelo, se obtendrán muy pocos beneficios del empleo de variedades mejoradas y de otras prácticas más productivas.

Existen algunos entusiastas de la horticultura orgánica que insisten en que el empleo difundido de fertilizantes orgánicos puede satisfacer todas las necesidades de fertilizantes. Sin embargo, ésta es una tontería. La cantidad de abono animal orgánico (que contiene 1.5% de nitrógeno sobre la base del peso seco) que se necesitaría para producir los 70 millones de toneladas métricas de nitrógeno químico que se emplea en la actualidad sería de cerca de 4.7 mil millones de toneladas, una montaña de estiércol de tamaño muy considerable (sin mencionar el aroma), suponiendo que se pudiera reunir. Este volumen de material orgánico equivale al doble del peso de la producción mundial de cereales y requeriría que se incrementara tres o cuatro veces la producción mundial de animales, con los correspondientes incrementos en la producción de grano y pastura para alimentarlos. Incluso ahora, existen muchas regiones del mundo donde el pastoreo excesivo causa graves problemas de erosión.

Además, no debemos olvidar que, hace menos de un decenio, muchos pesimistas predecían que no se podía justificar el uso de los escasos combustibles fósiles para producir fertilizantes nitrogenados. Más bien sostenían que el empleo de leguminosas en las rotaciones de cultivo y el uso de fertilizantes orgánicos eran los únicos métodos viables de mantener el nivel de nitrógeno de los suelos. A pesar de estas negras predicciones, hoy día hay un exceso de fertilizante nitrogenado en los mercados mundiales y su precio real es más bajo que en ninguna otra época en la historia de la industria de fertilizantes químicos.



Creo que los productos agroquímicos son absolutamente necesarios para producir los alimentos que se requieren para la actual población mundial de 5,000 millones de seres humanos, que crece a un índice de 82 millones por año. Para que no me malinterpreten, quiero decir que los productos agroquímicos y los fertilizantes necesarios para producir los alimentos y fibras que requiere nuestra población mundial, son como los medicamentos que tienen que utilizarse con las debidas precauciones. No hay forma de que el mundo pueda volver atrás a los "buenos tiempos pasados" de principios de los 30, cuando se empleaban pocos fertilizantes químicos. En la actualidad hay 5,000 millones de personas que requieren alimento, en tanto que en 1930 sólo había 2,000 millones. Si no se incrementa la productividad, ¿cómo podremos suministrar los alimentos necesarios para satisfacer las necesidades alimentarias de los 3,000 millones que han pasado a formar parte de la población mundial durante los últimos 50 años? No conozco otra alternativa al camino que hemos escogido.

Este grupo de críticos da la impresión de que el mundo está siendo envenenado irremediamente por el empleo de productos agroquímicos; empero, esta opinión niega los hechos. La verdad es que hay un mayor número de personas que viven una vida más agradable, placentera y larga que en cualquier generación anterior. En 1900, la esperanza de vida al nacer en EUA era de 46 años para los hombres y 48 para las mujeres. Para 1940, había aumentado a 60.8 y 65.2 años para hombres y mujeres, respectivamente. En 1982, la esperanza de vida al nacer había alcanzado 70.8 años para los hombres y 78.2 años para las mujeres, y sigue aumentando.

Para estos críticos elitistas, la verdad parece ser que la vida ha llegado a ser tan agradable que les gustaría prolongarla de manera indefinida sin dejar de gozar del vigor, entusiasmo y salud de la juventud. No se dan cuenta

de que cada especie está dotada de un reloj biológico que determina su longevidad máxima. Es cierto que en el siglo pasado un mejor nivel de nutrición y atención médica, así como de ropa y vivienda, incrementó grandemente la esperanza de vida media al nacer. Sin embargo, esto no implica que el reloj biológico que determina la longevidad máxima absoluta de *Homo sapiens* se haya incrementado o alterado en forma significativa. Esta filosofía utópica y poco realista prevalece porque aquellos que la promueven han olvidado que todo lo que nace debe, más tarde o más temprano, morir y dar paso a las nuevas generaciones.

Otro grupo de críticos insiste en que los programas extranjeros de asistencia técnica que producen "revoluciones verdes" a diestra y siniestra, están acabando con los mercados de las naciones exportadoras de alimentos. Sin embargo, esto no es más que una burda simplificación de los hechos. En primer lugar, las naciones y las personas pobres no suelen ser muy buenos clientes; por ejemplo, las naciones hambrientas y con déficits de alimentos de Africa son en su mayor parte economías agrícolas de autoconsumo, en las que 80 a 85% de la población total son agricultores pobres de autoconsumo sin ningún poder adquisitivo. La única forma que tienen de aumentarlo y mejorar su nivel de vida es incrementar su producción agrícola, de tal manera que cuenten con un excedente de productos agrícolas para vender y así puedan comenzar a adquirir otros productos; en esta forma se unirán a las economías monetarias, lo cual, con el tiempo, resultará en un incremento del comercio. Datos comerciales recientes sobre los productos agrícolas de EUA confirman este hecho. Las naciones del Tercer Mundo que presentan elevados índices de crecimiento en sus sectores agrícolas, también presentan un marcado crecimiento económico global. Asimismo, son estas naciones las que han incrementado la importación de productos estadounidenses, no los pobres y hambrientos países en desarrollo.

El crecimiento que se ha producido en la población a lo largo del siglo hace que nos resulte imposible dar marcha atrás y emplear las prácticas de producción menos intensivas que predominaban hace tan sólo un siglo, cuando la población mundial era de menos de 2,000 millones de personas y se disponía de grandes extensiones de tierra para producir una mayor cantidad de alimentos. En un mundo de 5,000 millones de habitantes, en el que resulta cada vez más difícil y costoso poner a producir nuevas tierras agrícolas, no tenemos más alternativa que la de intensificar el uso de la tierra en las explotaciones ya existentes. Una intensificación semejante puede tener consecuencias ambientales negativas, pero no necesariamente. En lugar de volver a los sistemas anteriores de producción, deberíamos tratar de encontrar soluciones en nuestros conocimientos científicos para crear tecnologías capaces de incrementar la productividad y garantizar la conservación del nivel de producción.


Sería negligente de mi parte si no expresara la preocupación que siento acerca de la creciente amenaza del monstruo de la población que pone en peligro el avance futuro de la humanidad en muchas áreas. Creo que los que trabajamos en la producción de alimentos tenemos la responsabilidad de advertir a los dirigentes políticos, religiosos y de la educación, y de conscientizar al público en general de todos los países, en el sentido de que producir mayores cantidades de alimentos y fibras y al mismo tiempo proteger el ambiente puede ser, cuando mucho, una táctica de detención mientras domamos al monstruo de la población. En años recientes, el asunto de los "derechos humanos" ha generado mucho interés y debate en todo el mundo. Este es un tema utópico, una noble meta que debe perseguirse. No obstante, en el mundo real, el establecer los derechos humanos en su sentido más pleno no puede lograrse mientras haya millones de indigentes que carecen de lo necesario para llevar una vida decente y humana.

Estoy en desacuerdo con los que hacen caso omiso de la creciente amenaza del monstruo de la población, que hablan superficialmente y con mojigatería del "derecho a la vida" y hacen a un lado la moralidad de la "calidad de vida". Esto sólo confunde aún más el complejo problema que nos vemos obligados a solucionar. ¿Por qué será que la humanidad sigue, de manera irresponsable e inconsciente, tratando de ver cuántas personas más se pueden "amontonar" en el planeta Tierra? ¿Por qué seguimos creyendo que en el futuro tecnologías nuevas y mejores ampliarán la capacidad de nuestro planeta y, al mismo tiempo, asegurarán un mejor nivel de vida para todos sus habitantes? Me parece que estamos actuando de la manera más irracional e irresponsable. Nuestra actitud implica que pensamos que cuando ya no podamos proporcionar una buena vida al número siempre ascendente de personas en nuestro planeta, podremos, en el momento propicio, despachar a los excedentes para que colonicen los bellos planetas vírgenes y hospitalarios de otros sistemas solares en el espacio sideral. ¡Ojalá fuera tan sencillo!

Es imposible dar marcha atrás al tiempo y emplear las prácticas de producción menos intensivas del siglo pasado.

Para mantener el vigor del CIMMYT

El objetivo fundamental del CIMMYT es ayudar a acelerar la creación de tecnologías mejoradas de maíz y trigo en el Tercer Mundo. En consecuencia, los resultados obtenidos en la productividad del maíz y trigo en las fincas de los agricultores deben constituir la evaluación definitiva del valor del trabajo del Centro y del sistema GCIAR. La tarea que nos ha sido asignada es, en última instancia, aliviar el hambre y la miseria humana, y no debemos olvidarla por ningún concepto. El CIMMYT no puede darse el lujo, ni tampoco los programas



nacionales que con él colaboran, de dormirse en sus laureles. Estamos obligados a brindar a las sociedades que nos respaldan y que dependen de nosotros un buen rendimiento sobre su inversión.

No importa cuán excelente y espectacular sea la investigación que se realice en una disciplina científica, su aplicación aislada tendrá poco o ningún efecto positivo en la producción de cultivos.

Considero que la forma más eficaz y expedita de crear tecnologías mejoradas es utilizando un método de investigación integrada. No importa cuán excelente y espectacular sea la investigación que se realice en una disciplina científica, su aplicación aislada tendrá poco o ningún efecto positivo en la producción de cultivos. Sin duda, resulta mucho más cómodo y agradable permanecer y trabajar a la sombra del árbol de la propia disciplina, aunque el bosque esté formado por los árboles de un sinnúmero de disciplinas. No obstante, lo que se necesita son científicos intrépidos que se sientan cómodos y estén dispuestos a trabajar a la sombra de todas las disciplinas científicas y, de esta manera, producir tecnologías capaces de incrementar la productividad global sostenida del "bosque". Esta integración de las diferentes disciplinas científicas adquirirá mayor importancia en el futuro a medida que ataquemos los problemas de los ambientes de producción marginales y de los ambientes que se cultivan en forma intensiva. Para esto se requiere un método de investigación que reconozca y aprecie la necesidad de contar con equipos de científicos que posean diferentes habilidades profesionales complementarias y que sean sensibles a la amplia gama de factores que afectan la productividad. Desafortunadamente, son raros los

científicos que se integran eficazmente a otras disciplinas. Aunque he tenido el privilegio de trabajar con algunas de estas personas en el pasado, es necesario identificar, al comienzo de sus carreras, un mayor número de científicos jóvenes que posean estos talentos, para proporcionarles la oportunidad de adquirir una amplia y variada experiencia con el fin de que se conviertan en agentes catalizadores eficaces que provoquen cambios y avances en la agricultura.

Nuestro amigo y colega T.W. Shultz subrayó la importancia de la estructura de la investigación dentro de una organización en una ponencia leída en Chile hace varios años. Permítanme citar su declaración:

"Estoy convencido de que casi todos los científicos que trabajan son empresarios de la investigación, pero es sumamente difícil crear instituciones que utilicen eficazmente este talento especial. La organización es necesaria y también requiere empresarios, pero siempre existe el riesgo de una organización excesiva, de dirigir la investigación desde las esferas más altas, de exigir a los científicos que dediquen cada vez más tiempo a la preparación de informes que "justifiquen" su labor y de tratar la investigación como una actividad rutinaria... En la búsqueda de asignaciones y fondos para la investigación, a menudo se presta muy poca atención al raro talento que constituye la fuente de una investigación emprendedora. La suposición conveniente es que una institución de investigación bien organizada y controlada con firmeza por un administrador se hará cargo de esta importante función, pero, de hecho, una organización grande con un control estricto es la *muerte* de la investigación creativa".

Me gustaría agregar una advertencia a esta declaración, y es que la investigación, aunque es necesaria para mejorar la producción de alimentos, no resulta de manera automática en sistemas más eficaces de producción.

Creo que tenemos la obligación moral y profesional de asegurar que los resultados probados de la investigación se empleen en beneficio de la sociedad. Si bien es cierto que debemos ser cuidadosos y concienzudos en nuestras actividades de investigación, también es cierto que no debemos volvernos excesivamente tímidos. Una característica de la ciencia es que el investigador perceptivo suele conocer la respuesta antes de tener todas las pruebas en la mano; en ocasiones, debemos estar dispuestos a presionar para que se adopten los resultados de una investigación, aunque todavía no estén en su lugar todas las piezas del rompecabezas. Es aquí donde hace falta el integrador creativo de la investigación.

Las investigaciones del CIMMYT no se han visto limitadas por restricciones burocráticas y políticas, han contado con suficientes fondos y son respaldadas por una excelente infraestructura de estaciones experimentales, laboratorios y servicios de información y administración. Asimismo, el Centro ha mantenido una excelente colaboración con el Programa de Investigación sobre el Trigo del INIFAP/CIANO y se ha beneficiado del apoyo del Patronato de Sonora, una organización de agricultores que patrocina investigaciones sobre el trigo. Este ambiente ha resultado en un alto nivel de motivación y compromiso entre el personal del CIMMYT y ha permitido a los científicos centrar sus energías en la agenda de investigación. Los éxitos que han logrado han conferido a la profesión de investigador agrícola mayor credibilidad y prestigio en el Tercer Mundo.


Si bien acepto que el Centro no pueda participar extensamente en los niveles básicos de la investigación orientada a la producción en los más de 100 países a los que sirve, es esencial que el personal del Centro considere los resultados obtenidos en las fincas de los agricultores como la medida más importante con la que se juzgará el éxito de sus actividades de investigación. Es de vital importancia mantener el contacto

con los productores a fin de que las prioridades del programa no se desvíen del camino establecido y se conserve la orientación práctica del Centro. Además, este contacto mitiga los efectos erosivos de los peligrosos virus institucionales de la abundancia, la autosatisfacción, y la complejidad y especialización excesivas. Estos virus, muy extendidos en las instituciones de investigación, son altamente contagiosos, ocasionan la osificación temprana y a menudo resultan letales.

El personal del Centro considera los resultados obtenidos en las fincas de los agricultores como la medida más importante del éxito de su investigación.

Al personal del CIMMYT y sus familias

En breves palabras, nuestro destino como científicos agrícolas es aprender acerca de lo conocido, descubrir lo desconocido y comunicar nuestros hallazgos de manera efectiva. Nuestra excelencia en el desempeño de cada una de estas actividades es esencial para nuestro éxito personal y colectivo y para que nuestra labor beneficie a la humanidad. La profesión que hemos escogido no es para los pusilánimes, pues requiere que uno se comprometa, exige mucho y además no se puede delegar. La naturaleza a menudo manifiesta pequeñas diferencias de manera muy sutil y suele susurrar en vez de hablar en voz fuerte. Esto requiere que el investigador mantenga un contacto personal íntimo y continuo con el programa de investigación para poder discernir e interpretar las pequeñas diferencias en los complejos sistemas biológicos en los que trabajan. Nos obliga a viajar extensamente, a vivir a menudo en condiciones espartanas e implica que nos ausentaremos de nuestras familias y amistades durante períodos largos. En ciertas épocas de



trabajo intenso, tenemos que hacer caso omiso de las horas y días de trabajo normales si queremos terminar nuestras tareas. No obstante, creo que tenemos compensaciones gratificantes. Cuando pienso en la choza de adobe con techo de cartón alquitranado en Chapingo, donde se inició el programa antecesor del CIMMYT hace 43 años, me sorprende de la influencia colectiva que han tenido éste y otros programas subsecuentes en mejorar la agricultura, primero en México, y luego en muchos otros países. El camino del éxito ha sido problemático, a veces frustrante y a veces difícil de recorrer. Pero aunque la lucha por alcanzar la meta haya sido extenuante, ha resultado en un mejor nivel de vida para millones de personas.

Si bien el nuevo edificio de capacitación, conferencias e información del CIMMYT puede ayudar a incrementar la eficacia de la labor del Centro, constituye sólo un medio y no un fin en sí. Debemos juzgar nuestro valor no por las instalaciones o recursos financieros que tenemos, ni por el número de trabajos científicos que publicamos, sino por nuestra contribución al mejoramiento de la productividad agrícola en el Tercer Mundo, de maneras que son sostenibles desde el punto de vista de la conservación del ambiente. Espero que sus prioridades siempre estén ordenadas según los importantes problemas de la producción de alimentos y que no se distraerán en perseguir ilusorias mariposas académicas.

Me siento muy halagado de que nombren este magnífico edificio en mi honor. Sin embargo, soy más realista que sentimental y sé que la memoria es corta y que los nombres, aunque estén grabados en bronce o piedra, pronto se oscurecen y se olvidan, o pierden su sentido. Durante las últimas cuatro décadas he tenido el privilegio de llevar a muchas partes del mundo la antorcha que fue encendida para guiarme por los ya fallecidos Dres. E.C. Stakman y J.G. Harrar. Esta antorcha debía fomentar la investigación, extensión y producción

agrícolas, y ha sido impulsada por la instrucción, experiencias, motivación, entusiasmo y sabiduría que esas legendarias figuras científicas me brindaron.

Tengo la esperanza de que en este edificio nuevo se encenderán nuevas antorchas que las generaciones venideras de científicos llevarán para continuar la cruzada mundial contra el hambre, la miseria y la ignorancia. Además abrigó la esperanza de que alguna vez en el futuro surgirá de los umbrales de este edificio un individuo (que haya vivido y trabajado aquí como becario de maíz o trigo, como estudiante pre o posdoctorado, como científico visitante o como miembro del personal) que reciba el recién establecido Premio Mundial de los Alimentos.

He luchado durante quince años para encontrar un patrocinador que quisiera establecer un prestigioso premio en el campo de la agricultura y los alimentos. En mayo de 1986, este sueño se hizo realidad cuando la General Foods, Inc., anunció la creación de un Premio Mundial de los Alimentos, cuyo valor monetario es igual al del Premio Nobel, y que se otorgará anualmente, comenzando en 1987, a un individuo cuya labor haya tenido la mayor influencia en mejorar la calidad, cantidad o disponibilidad de alimentos. El premio se conferirá por contribuciones sobresalientes en cualquier nivel de la cadena de alimentos.

Para concluir, deseo expresar mi agradecimiento a los cientos de colaboradores científicos y amigos que he tenido el placer de conocer y tratar en plan de trabajo en las últimas cuatro décadas. Sin esa colaboración, se hubiera logrado poco avance en el mejoramiento agrícola. Hace 40 años no existía la cooperación internacional en la investigación agrícola, pero hoy aporta mucho a mejorar la eficiencia y producción de alimentos en todo el mundo. Aun así, creo que hay que fortalecer y extender la cooperación en la

investigación agrícola para que le llevemos la ventaja al monstruo de la población.

A todos ustedes que proceden de países donde he trabajado sin poder expresarme en su idioma materno, o donde, por mi ignorancia, he cometido errores culturales—les pido me perdonen. Sin excepción y a pesar de mis muchas limitaciones, me han hecho sentirme como en mi casa y les doy las gracias. Finalmente, a los numerosos amigos mexicanos que me han brindado un

segundo hogar en el que he pasado más de la mitad de mi vida, trabajando muy contento con científicos, técnicos, educadores, funcionarios del gobierno y agricultores —acepten por favor mi mayor agradecimiento.

Por último, que Dios los bendiga y los proteja a ustedes, el personal del CIMMYT, en su importante labor, esencial para el bienestar de la humanidad, la supervivencia de la civilización y el continuo avance de *Homo sapiens*.



La revolución verde

M.S. Swaminathan

**Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz,
Los Baños, Filipinas**

El término "revolución verde" fue acuñado en 1968 por el Dr. William S. Gaud, Director de la Agencia para el Desarrollo Internacional (EUA). Esta frase encontró de inmediato amplia aceptación a causa de las espectaculares repercusiones de las variedades semienanas de trigo obtenidas en el Programa Conjunto de la Fundación Rockefeller y el Gobierno de México (percursor del CIMMYT), y de las variedades de arroz producidas por el IRRI. Por ejemplo, la producción de trigo de la India aumentó de 12 millones de toneladas en 1964 a más de 17 millones en 1968. En 1965 y 1966 hubo sequía general en el subcontinente de la India. En 1966, se evitó una posible hambruna de dimensiones desastrosas mediante la importación de casi 10 millones de toneladas de trigo, la mayor parte suministrada por Estados Unidos de América bajo su programa PL 480.

Con su estilo propio e inimitable, el Dr. Borlaug, cuyo nombre tiene un lugar permanente en la historia de la agricultura por su contribución a iniciar la revolución del trigo en muchos países en desarrollo, ya se ha referido a los logros recientes en el mejoramiento de la productividad del maíz y el trigo. Por lo tanto, no quisiera repetir lo que él ha dicho con tanta eficacia y elegancia. En cambio, me gustaría tratar algunos de los problemas relacionados con la revolución verde que han ocupado el primer plano de la polémica pública en los últimos años. Me concentraré principalmente en el trigo.

Historia de algunas de las anteriores revoluciones agrícolas

Se ha utilizado el término "revolución agrícola" para describir el impresionante progreso de la producción de cosechas en muchas partes del mundo en distintos momentos. En un artículo reciente, Grigg (1984) ha descrito la historia de la revolución agrícola en Europa Occidental.

Otro autor identificó cuatro etapas en la revolución agrícola de Gran Bretaña. Primero, a comienzos del siglo XVI, hubo un cambio de la agricultura de subsistencia a la comercial. Segundo, se inició a principios del siglo XIX la introducción de nuevas rotaciones de cultivos así como el mejoramiento del ganado. En tercer lugar, la característica del período de 1820-1880 fue que los agricultores adquirieron forraje y fertilizantes artificiales e invirtieron en nuevas construcciones y avenamiento. En la última etapa, a partir de 1914, se produjo la introducción del tractor y de maquinaria que permite ahorrar tiempo. Por consiguiente, si bien se pensaba que la revolución agrícola había representado una ruptura brusca en la historia de la agricultura inglesa, ahora se ha ampliado a unos 300 años.

Como no existía una definición precisa de lo que implica, una revolución agrícola ha sido descrita como la transición de las prácticas de labranza tradicionales a la agricultura científica moderna.

¿Qué es lo que desencadena la transición de las prácticas tradicionales a la agricultura moderna con bases científicas? Los historiadores de la agricultura estadounidense opinan que el maíz híbrido, que dio un rendimiento 2 ó 3 veces mayor que el de las variedades de polinización libre, inició el cambio en el decenio de 1930. Los agricultores que comenzaron a utilizar el maíz híbrido adoptaron mejores prácticas de manejo de cultivo tanto para el maíz como para otros cultivos. Las variedades de trigo semienano del CIMMYT tuvieron la misma repercusión en ciertas zonas de la India y Pakistán. Por ejemplo, los agricultores de la región del Punjab en Pakistán y la India, que comenzaron a apreciar el valor de un mejor suministro de nutrientes y de prácticas de manejo del agua para las variedades semienanas

del trigo, también llevaron estas prácticas al arroz, la papa y otros cultivos incluidos en el sistema de cultivo de trigo. Por consiguiente, la revolución del trigo se convirtió también en la revolución del arroz, la revolución de la papa, etc. En consecuencia, es obvio que los agricultores hicieron las veces de catalizadores con su cambio de actitud. La figura 1 muestra el progreso del mejoramiento del rendimiento del trigo entre 1750 y 1980 en algunos países de Europa Occidental. El abrupto aumento del rendimiento que se observó en los últimos 50 años en estos países se debe en gran parte al alza sin precedentes del consumo de fertilizantes artificiales, el empleo de variedades de alto rendimiento y la lucha contra plagas, enfermedades y malezas. Se ha producido un incremento marcado en la productividad del trabajo gracias a la disminución de la mano de obra como resultado de la mecanización.

Es interesante señalar que, durante los últimos 20 años, en varios países en desarrollo ha aumentado la producción de alimentos con mayor rapidez que en Europa. A pesar de este progreso espectacular, debemos considerar que la

revolución verde es sólo la primera etapa de una nueva era de la agricultura tropical y subtropical.

He dedicado cierto tiempo a hacer un examen de la historia porque algunos críticos de la revolución verde han tratado de insinuar que las nuevas tecnologías relacionadas con ella, tales como la introducción de estirpes genéticas del trigo y el arroz que responden bien a suelos fértiles y a un buen manejo del agua, fueron especialmente diseñadas para favorecer los intereses comerciales de empresas multinacionales. Los recientes adelantos de la agricultura de la India indican que la revolución verde es, en el caso del trigo y el arroz, el resultado de una evolución escalonada.

La revolución del trigo en la India

El período entre 1947, cuando la India obtuvo su independencia, y 1966 fue testigo de tres etapas evolutivas importantes de la planificación y el desarrollo agrícola. En la primera etapa, de 1947 a 1960, se hizo mucho hincapié en el desarrollo de una infraestructura, como caminos, escuelas y hospitales rurales, proyectos de

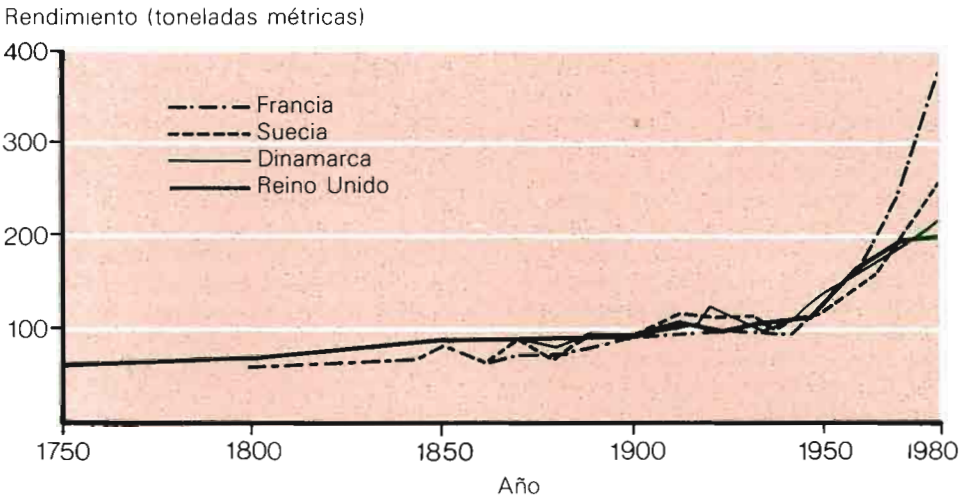



Figura 1. Rendimientos del trigo, 1750-1980.

Fuente B R. Mitchell (1975), Bennett (1935), Toutain (1961), FAO (1963, 1980)



irrigación y fabricación de fertilizantes minerales. La segunda etapa, de 1960 a 1965, consistió en un programa agrícola intensivo en los distritos (PAID), destinado a introducir un paquete de prácticas tales como el cultivo de variedades mejoradas y el uso de fertilizantes y plaguicidas en zonas con riego garantizado. El "programa paquete", como se le llamó popularmente, se aplicó en zonas con riego garantizado para intensificar al máximo los beneficios del agua. Por desgracia, los resultados durante los primeros años del proyecto fueron desalentadores ya que pronto se descubrió que el "paquete" carecía de estirpes genéticas que pudieran responder con eficacia al riego y uso de fertilizantes.

electrificación rurales, antes de la introducción de la nueva tecnología. Además, los agricultores del Punjab eran propietarios de su tierra y tenían intereses a largo plazo en el desarrollo de una infraestructura agrícola. Esto es evidente por el rápido aumento del riego mediante pozos entubados pertenecientes a los agricultores. Por desgracia, en otras regiones de la India no existían esas condiciones previas, que hubieran favorecido al arraigo y difusión rápida de nuevas tecnologías. De este modo, fueron muy notables las disparidades regionales en cuanto a la difusión de la nueva tecnología. Por ejemplo, el rendimiento medio del trigo llegó a 3,288 kg/ha en el Punjab, mientras que en Karnataka fue de 643 kg/ha en 1984-1985.

La tasa de crecimiento de la producción del trigo en la India entre 1967-1968 y 1980-1981 fue más del doble de la tasa de crecimiento de la producción total de granos. La contribución del trigo a la producción total de cereales alimentarios en ese país aumentó de 12% en 1966 a casi el 30% en la actualidad. Se estima que la producción de trigo en 1985-1986 será aproximadamente de 46.5 a 47.0 millones de toneladas. Este avance espectacular no hubiese sido posible si el Gobierno de la India no hubiese proporcionado al agricultor un precio remunerativo y asegurado arreglos de comercialización. La agricultura progresa sobre una base sostenible sólo cuando se introducen paquetes de tecnología, servicios y políticas públicas que se refuerzan entre sí.

El progreso en otros países

Borlaug (1985) ha descrito el progreso logrado por muchos países en el aumento de la producción del trigo. Serán suficientes unos pocos ejemplos para mostrar las dimensiones del avance alcanzado.

En Pakistán, desde 1966, la producción de trigo ha aumentado de 4 millones de toneladas métricas a más de 13 millones en 1983, una cifra más de tres veces superior. El rendimiento se duplicó en el mismo período. A pesar de que la

La agricultura avanza sobre una base sostenible sólo cuando se introducen paquetes de tecnología; servicios y políticas públicas que se refuerzan entre sí.

Esta deficiencia del programa paquete se resolvió en 1966, cuando se introdujo el programa de variedades de alto rendimiento (PVAR) en los cultivos de trigo, arroz, maíz, sorgo y mijo perlado. Las primeras estirpes de trigo de alto rendimiento introducidas bajo el PVAR provenían de México; en el caso del arroz, algunas, como el IR8, fueron proporcionadas por el IRRI y otras se desarrollaron en el país o fueron traídas desde Taiwán. En cuanto al maíz, el sorgo y el mijo, se introdujeron híbridos producidos en los respectivos Proyectos Panindios de Investigaciones Coordinadas del Consejo de Investigaciones Agrícolas de la India (CIAI).

La primera revolución fue la del trigo. Hubo varias razones. En primer lugar, en el Punjab, donde comenzó la revolución del trigo, habían progresado mucho la concentración parcelaria y nivelación de terrenos, las comunicaciones y

producción de arroz equivale a sólo una cuarta parte de la producción de trigo, Pakistán ha exportado arroz en los últimos 12 años.

Turquía ha duplicado su producción de trigo en los últimos 10 años y ha vuelto a ser un pequeño exportador. Bangladesh, si bien aún produce poco trigo, ha logrado un avance espectacular al aumentar su producción en los últimos cinco años, cultivando ese cereal después del arroz o el yute.

La República Popular China ha hecho progresos impresionantes en el aumento de su producción de cereales en el último decenio. Durante mucho tiempo ha sido el principal país productor de arroz y ocupa el segundo lugar en cuanto a producción de maíz, después de Estados Unidos. En 1984, China cosechó 87.8 millones de toneladas de trigo y desplazó a la Unión Soviética, con una cosecha de 76 millones de toneladas de su posición como primer país productor de trigo en el mundo. La mayor parte del trigo que se cultiva en China es de variedades de invierno; sin embargo, las variedades enanas mexicanas de trigo de primavera han sido utilizadas comercialmente en el sur (sobre la costa este), donde el invierno es menos riguroso, y en las provincias del nordeste (en especial en Kirin), donde se siembran en primavera.

Los informes anuales del CIMMYT correspondientes a los últimos 15 años dan una idea del impresionante progreso alcanzado por casi todos los países en desarrollo que cultivan trigo.

Balance general de la revolución verde

Podemos ahora hacer un balance general de esta primera etapa de la revolución verde. En primer lugar, un logro muy importante de esta etapa ha sido despertar en muchos países en desarrollo confianza en sí mismos con respecto a su capacidad de alcanzar la autosuficiencia alimentaria.


En segundo término, la agricultura ha logrado un mayor prestigio social y en la actualidad se reconoce ampliamente que

la agricultura moderna necesita no sólo músculos, sino también cerebro (tecnología) y bancos (recursos financieros y de otro tipo). Esta comprensión ha intensificado el apoyo a las investigaciones agrícolas nacionales y sistemas de divulgación, así como a un mayor flujo de crédito para el sector agrícola. Ahora, la mayoría de los líderes políticos comprenden que no se puede iniciar ni sostener un programa dinámico de producción agrícola sin el apoyo de un dinámico sistema nacional de investigaciones agrícolas.

Tercero, los países muy poblados y carentes de tierras del sur y sudeste de Asia han podido aumentar su producción mediante un crecimiento vertical de la productividad, gracias a la rápida difusión de variedades de alto rendimiento (figura 2).

Cuarto, puede lograrse una mayor intensidad de cultivo en zonas irrigadas y zonas con precipitación pluvial segura, gracias a la disponibilidad de variedades insensibles al fotoperíodo y de corta duración. Por ejemplo, la superficie cultivada con trigo en Bangladesh aumentó de 120,000 ha en 1974 a más de 600,000 ha en 1984. Todo el trigo en ese país se planta en invierno a partir de noviembre, después de cosechar el arroz y el yute. Se volvieron posibles rotaciones totalmente nuevas como las de arroz-papa-trigo, algodón-trigo y caña de azúcar-trigo. En consecuencia, los fitogenetistas han comenzado a hacer selecciones basadas en la productividad por día y no por cultivo.

Quinto, varios países en desarrollo comenzaron a establecer sistemas nacionales de seguridad alimentaria basados en la adquisición del superávit de trigo cosechado en el país. La India, que importaba 10 millones de toneladas en 1966, logró en 1972 una reserva de granos de más de 10 millones de toneladas, principalmente de trigo cosechado en el país o comprado. Las existencias de granos del Gobierno de la India superan en la actualidad los 30 millones de toneladas. Esto incluye lo necesario para la seguridad alimentaria y la distribución pública.



Por último, se ha refutado la vieja opinión de que los agricultores analfabetos de la India y otros países en desarrollo no pueden adoptar con facilidad las nuevas tecnologías. Los agricultores de los países en desarrollo, analfabetos o no, han demostrado que adoptarán con rapidez las técnicas para mejorar la producción y las variedades de alto rendimiento si están convencidos de que les ayudarán a elevar sus ingresos y su nivel de vida.

Repercusiones de la revolución verde

¿Cuáles han sido las repercusiones de la revolución verde en los principales miembros del equipo de producción agrícola?

Repercusión en la seguridad alimentaria nacional

El trigo se ha vuelto el ancla del sistema nacional de seguridad alimentaria en la India, Pakistán y varios otros países en

podrá autoalimentarse (Paddock y Paddock, 1967). Destruyó el mito de que la evolución agrícola en los países en desarrollo tenía que ser un proceso muy lento y que las revoluciones en la producción de cultivos no son fáciles a causa del gran número de pequeños agricultores, cuya participación es esencial para hacer posibles dichas revoluciones. Gracias a la revolución del trigo, la India pudo comenzar a establecer un confiable sistema nacional de seguridad alimentaria.

Repercusión en los investigadores

La investigación es un componente clave del sistema de producción de alimentos. Determina en gran medida los niveles actuales de productividad potencial e indica la esfera de acción para aumentar más el potencial de producción en el futuro. Además del prestigio y la confianza en sí mismos que adquirieron los científicos agrícolas de los países en desarrollo después de la introducción de variedades de alto rendimiento, es posible identificar los cinco beneficios más duraderos.

Primero, se hizo obvia la necesidad de investigaciones multidisciplinarias. Los científicos comenzaron a comprender que la investigación centrada exclusivamente en una disciplina no les llevaría muy lejos en el mejoramiento del rendimiento de las plantas de cultivo. En la India, poco después de la introducción de las variedades de trigo de alto rendimiento, fue claro que eran esenciales varios cambios básicos en las técnicas agronómicas para que las nuevas variedades realizaran todo su potencial de rendimiento. Algunos de los cambios fueron la siembra superficial, la aplicación del primer riego en la etapa de iniciación de las raíces de la corona, la aplicación discontinua de fertilizante y una eficiente lucha contra las malezas.

Segundo, los científicos vieron la ventaja de las pruebas en sitios múltiples para llegar más rápidamente a conclusiones confiables. Ya en 1963, en el primer año de la introducción a la India de cuatro variedades semienanas de trigo (Sonora

Se ha refutado la antigua opinión de que los agricultores analfabetos de los países en desarrollo no pueden adoptar con facilidad las nuevas tecnologías.

desarrollo. Por lo tanto, será de utilidad considerar los detalles de esta relación. La FAO ha definido la seguridad alimentaria como "acceso físico y económico a los alimentos para todo el pueblo en todo momento". Esta definición implica un abastecimiento adecuado de alimentos y el acceso a éstos para todos los seres humanos, independientemente de su posición económica. En otras palabras, la seguridad alimentaria requiere políticas integradas para la producción, distribución y consumo.

El progreso de la producción de trigo contribuyó a destruir muchos mitos y predicciones funestas. Por ejemplo, acabó con el mito de que la India no

63, Sonora 64, Mayo 64 y Lerma Rojo 64-A) provenientes de México, éstas líneas fueron puestas a prueba en Delhi, Ludhiana, Pantnagar, Kanpur, Pusa e Indore. Al año siguiente, se realizaron pruebas en muchos más lugares utilizando 250 toneladas de semilla importada de México. Sobre la base de la información obtenida en dos años de las pruebas en localidades múltiples, en 1966 se tomó la decisión de importar de México 18,000 toneladas de semilla de Lerma Rojo 64-A y Sonora 64. Los hechos posteriores han confirmado la sabiduría de esta decisión.

En tercer lugar, la amplia capacidad de adaptación de los trigos semienanos mexicanos reveló el valor de las técnicas del mejoramiento alternado, que se lleva a cabo en diversos ambientes, en el desarrollo de variedades de gran adaptación.

Cuarto, el intercambio de materiales genéticos y su ensayo en viveros internacionales de observación y de rendimiento permitieron que los fitogenetistas de todo el mundo compartieran el mejor complejo germoplásmico disponible. Esos viveros también contribuyeron a advertir con anticipación el peligro de probables enfermedades y plagas.

Si existe la voluntad política, se puede acelerar el ritmo del progreso agrícola.

Quinto, los administradores de la investigación agrícola comprendieron que, a menos que se introdujeran políticas de personal que atrajeran y retuvieran a buenos científicos, no iba a

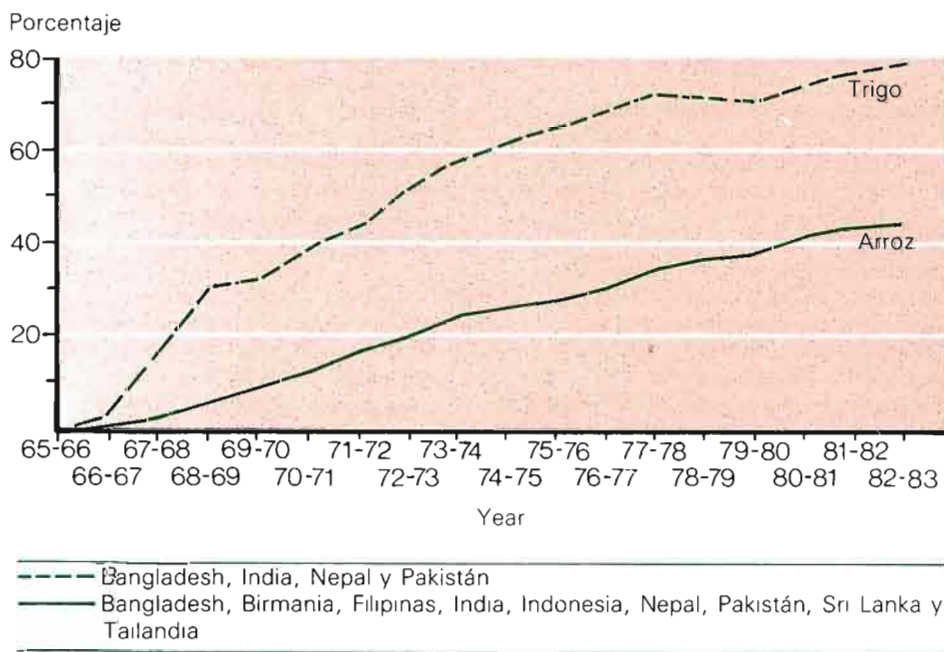



Figura 2. Proporción estimada de la superficie sembrada con variedades de alto rendimiento de trigo y arroz, países del sur y sudeste de Asia, 1965-1966 a 1982-1983.

Fuente Dalrymple (1985)



ser posible afrontar los nuevos retos que surgen constantemente con el progreso de la agricultura. Son esenciales las políticas que promueven la especialización de por vida de los científicos para establecer sistemas nacionales de investigación sólidos.

Repercusión en los servicios de extensión y en los medios de información

Antes de introducir el programa de variedades de alto rendimiento, quienes trabajaban en servicios de extensión en países como India, no tenían casi nada que divulgar en cuanto a nuevos conocimientos y habilidades o a los insumos necesarios para aumentar la producción. La revolución verde realzó el prestigio de los servicios de extensión y ayudó a sincronizar los esfuerzos por transferir conocimientos y suministrar insumos. Además, se reforzaron los vínculos de retroalimentación entre el personal de los servicios de extensión y los investigadores, que comenzaron a respetarse mutuamente.

Repercusión en los líderes políticos

La revolución verde demostró que, cuando existe voluntad política, puede acelerarse el ritmo del progreso agrícola. Ya que la población de la mayoría de los países en desarrollo es predominantemente rural y que la agricultura es su principal ocupación, los líderes políticos comprendieron que tenían la oportunidad de contribuir a mejorar la calidad de la vida de dicha población. En consecuencia, comenzaron a dedicar mucha atención a las reformas agrarias y a las medidas de desarrollo rural.

Repercusión en los consumidores

Los consumidores quizá sean quienes han obtenido el máximo beneficio del progreso en la producción de trigo y arroz en los últimos 20 años. La razón es que, en los países con bajos ingresos, los pobres son los que más tienen que ajustarse a la fluctuación del abastecimiento de alimentos. Citaré a John Mellor (Prólogo al Informe de Investigaciones N° 18 del IFPRI, 1980):

En los países con bajos ingresos, los pobres son los que realizan la mayor parte del reajuste a la fluctuación del abastecimiento de alimentos. Los efectos directos sobre precios e indirectos sobre el empleo que provoca una disminución del 10% en el abastecimiento de granos alimentarios, reducen lo que se gasta en esos granos en un 40% en términos reales para el 10% más bajo de la distribución de ingresos. En cambio, con la misma disminución de la producción, la reducción de lo que se gasta en cereales alimentarios es sólo del 1% en términos reales para el 5% más alto de la distribución de ingresos. No obstante, los pobres son los menos capaces de soportar esa privación, pues gastan en alimentos una parte tan grande de sus ingresos que los aumentos de precio inducidos por la escasez reducen considerablemente su capacidad de adquirir granos alimentarios, mientras que las clases más pudientes compensan esos aumentos gastando menos en otros bienes y servicios, con lo cual disminuyen el ingreso de los pobres al reducir el número de empleos. Como la ingesta alimentaria de los pobres está ya tan cerca del mínimo, la escasez de alimentos provoca un aumento de la malnutrición.

Por lo tanto, una de las medidas más importantes que pueden tomarse para mejorar las condiciones de los pobres es reducir la fluctuación de los precios y del abastecimiento de alimentos.

Los precios internacionales del trigo y el arroz siguen cayendo, en parte por las grandes existencias en el mundo y en parte por los considerables subsidios que se otorgan a los agricultores en los países desarrollados (fig. 3).

Repercusión en los agricultores

En última instancia, son los agricultores quienes deciden qué cultivar, cuándo sembrar, cuánto invertir y cómo comercializar su cosecha. Los demás sólo pueden apoyar a los agricultores. En muchos países del sur y sudeste asiático,

a causa de sus pequeños predios (en países como la India, el tamaño medio de las explotaciones fluctúa entre una y dos ha), puede requerirse la participación activa y la ayuda de un millón de familias de agricultores para producir un millón de toneladas adicionales de trigo o arroz. Los agricultores han demostrado que aceptarán de inmediato las nuevas tecnologías siempre que estén convencidos de que contribuirán a aumentar sus ingresos. Sean o no analfabetos, son economistas juiciosos. Para ellos, ver es creer. Es por esto que el Programa Nacional de Demostración organizado en la India en 1964-1965 y en años posteriores, fue tan eficaz para convencer a los agricultores de que estaban entrando en una nueva era de rendimiento del trigo. Esas demostraciones fueron llevadas a cabo por científicos en los campos de pequeños agricultores. Es importante

elegir a los pequeños agricultores para organizar las demostraciones, ya que los rendimientos más altos obtenidos por los grandes agricultores prósperos se atribuirán más a su condición económica que a la tecnología.

Hoy, los agricultores de los países en desarrollo y desarrollados enfrentan serios problemas económicos. Los países en desarrollo tendrán que organizar sistemas apropiados de seguro social para los pequeños agricultores si desean mantener la producción en el nivel necesario.

La ciencia y la tecnología son los factores más importantes para eliminar el muro que separa la pobreza de la prosperidad.

Precio del trigo (EUA \$/t)

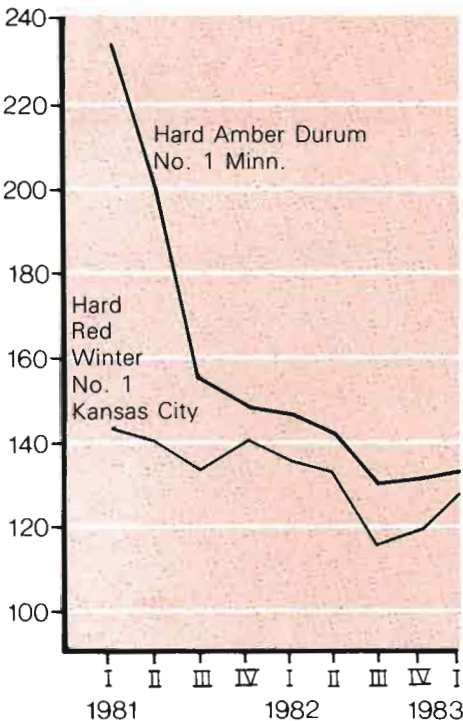


Figura 3. Precio de mayoreo del trigo en EUA, 1981-83.

Segunda fase de la revolución verde

Si bien los logros positivos han sido muchos, ha existido seria preocupación acerca de la posibilidad del sostenimiento económico y ecológico de las tecnologías de alto rendimiento asociadas con la revolución verde. Además, se ha cuestionado el acceso que tienen los pequeños arrendatarios a las nuevas tecnologías. Muchas de estas dudas surgieron después del marcado aumento a partir de 1972 de los precios de insumos basados en derivados de combustibles fósiles.

Quisiera tratar algunas de estas cuestiones. Sin embargo, antes de entrar en detalles, quizás valga la pena llamar la atención hacia las proyecciones recientes del Instituto Internacional para Investigaciones sobre Políticas Alimentarias (IFPRI), en relación con las necesidades alimentarias del Tercer Mundo hasta el año 2000 (Paulino, 1986). Al proyectar una secuencia de tendencias en la situación alimentaria para el año 2000, basada en datos de la producción de 1961-80 y del consumo

en 1966-80, observamos un déficit en la producción de alimentos básicos en el Tercer Mundo de alrededor de 70 millones de toneladas (76 millones de toneladas, excluyendo a China). Esta laguna representa aproximadamente el 5% de la demanda proyectada de alimentos de primera necesidad en el

Tercer Mundo para el año 2000, y es un tercio mayor que el déficit de alimentos de los países en desarrollo en 1980. Por lo tanto, no tenemos tiempo de descansar en nuestros esfuerzos por aumentar la producción de alimentos, para citar una de las frases favoritas del Dr. Borlaug.

Rendimiento (t/ha)

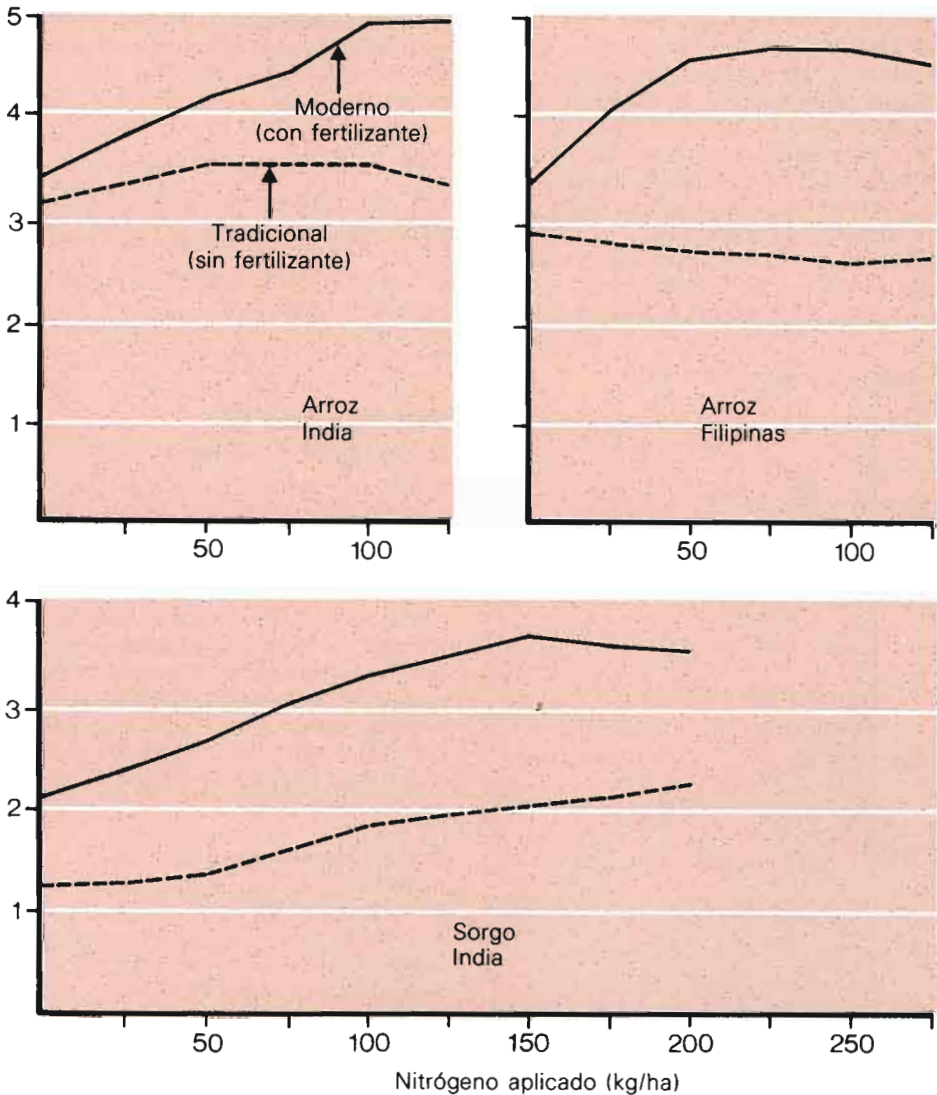


Figura 4. Rendimiento de arroz y sorgo con y sin fertilizantes.

Fuente: GCIAl (1985).

Quiero abordar los problemas que surgen, reunidos en tres grupos: primero, los que se relacionan con una mayor producción de trigo sobre una base sostenible; segundo, los que conciernen al bienestar económico de las familias que cultivan trigo; y, por último, los que se refieren a aumentar el consumo de trigo entre las clases urbanas y rurales pobres. Terminaré con la descripción de algunos de los más importantes retos científicos que enfrentarán los próximos decenios el CIMMYT y los sistemas nacionales de investigación.

Mayor producción de trigo

Una errónea idea popular acerca de las variedades de trigo y arroz de alto rendimiento es que no se pueden cultivar

sin grandes insumos de fertilizantes y plaguicidas. Todos los datos disponibles indican que las variedades semienanas de alto rendimiento del maíz y el trigo, así como los híbridos del sorgo, pueden rendir más que las antiguas variedades altas con todos los niveles de aplicación de nitrógeno. Esto se debe a la capacidad de las variedades de alto rendimiento de asignar una cantidad mayor de su materia seca a la formación de granos (figura 4). Durante este siglo, la mayor parte del progreso en aumentar el rendimiento del trigo y de otros cultivos se ha originado principalmente en el mejoramiento del índice de cosecha de granos (figura 5). Si bien en muchos países asiáticos está disminuyendo la disponibilidad per cápita de tierra cultivable, va en aumento la proporción

Índice de cosecha (%)

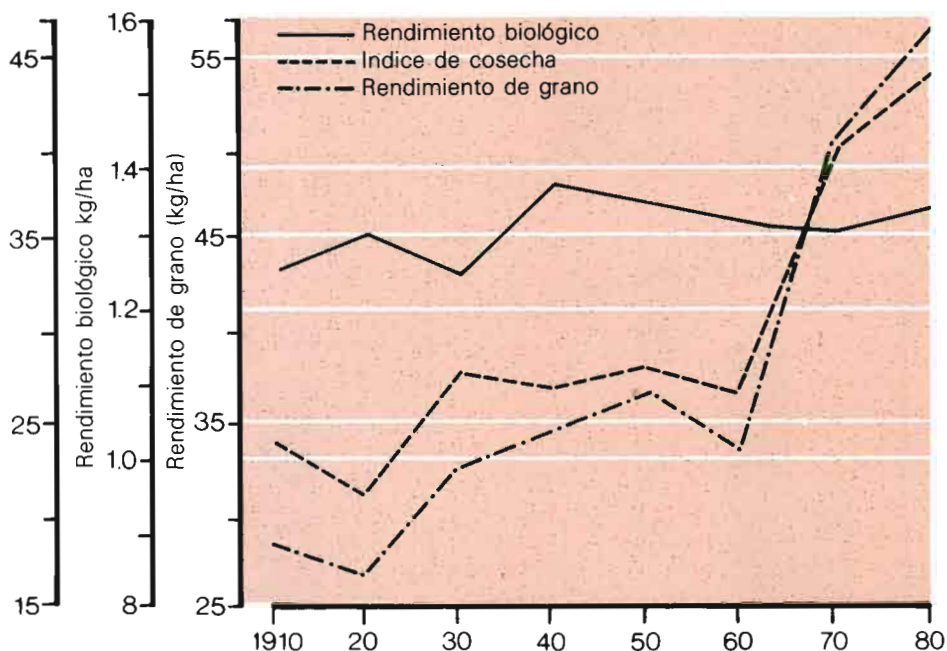


Figura 5. Tendencia del rendimiento de grano de las variedades en relación con dos parámetros para el período de 1910 a 1980.

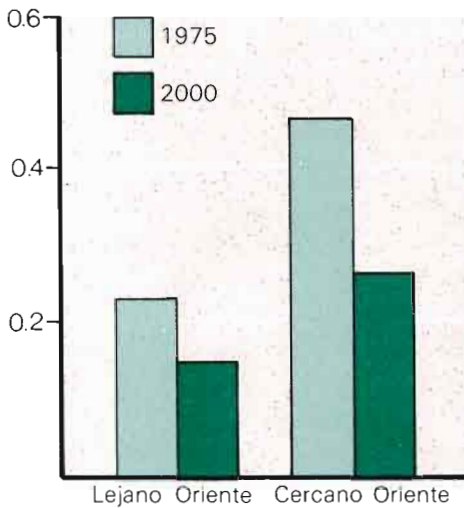
Fuente: Kulshrestha & Jain (1983).

de la tierra irrigada (figura 6). Por consiguiente, es necesario incrementar los beneficios del agua mediante interacciones sinérgicas entre nutrientes y variedades. La importancia de las variedades de alto rendimiento aumentará con la expansión del riego y el alza del costo de los fertilizantes

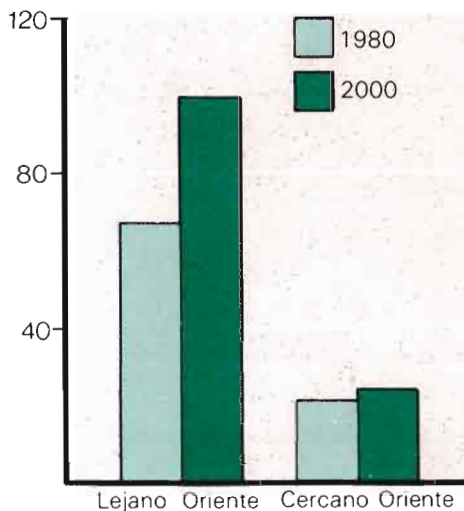
minerales. En este contexto, son muy significativos los resultados de la labor que ha realizado el CIMMYT para lograr un incremento continuo en el rendimiento (figura 7).

Aquellos que abogan por el regreso a las antiguas variedades y tecnologías, muy adecuadas cuando era menor la presión demográfica, harán un gran daño a sus países al crear la impresión de que pueden obtenerse altos rendimientos con variedades ineficientes en cuanto a la utilización de nutrientes. El cuadro 1 muestra los nutrientes necesarios para una cosecha de trigo de cuatro toneladas con tres contenidos diferentes de proteínas. El contenido proteínico y la calidad del grano influyen mucho en los precios internacionales (figura 8). Por tanto, es esencial suministrar los nutrientes adecuados para mejorar el rendimiento y la calidad. Sin embargo, algo que se puede hacer es reemplazar parcialmente los fertilizantes minerales con biofertilizantes producidos en la explotación. Merecen mayor atención los cultivos de abono vegetal, como *Sesbania rostrata* con nódulos en el tallo

Superficie cultivable per cápita



Superficie irrigada, m/ha



Superficie irrigada (%)

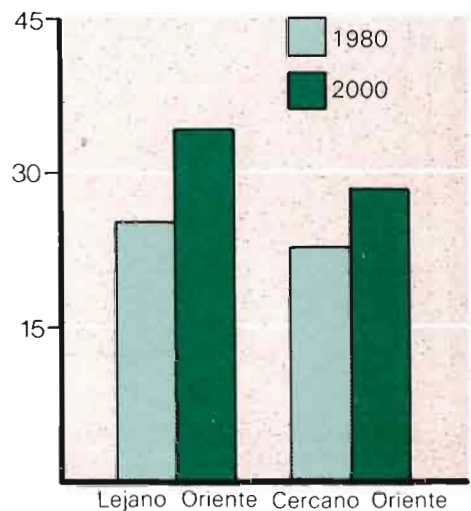


Figura 6. Proporción de superficie irrigada, Lejano y Cercano Oriente.

Fuente: FAO.

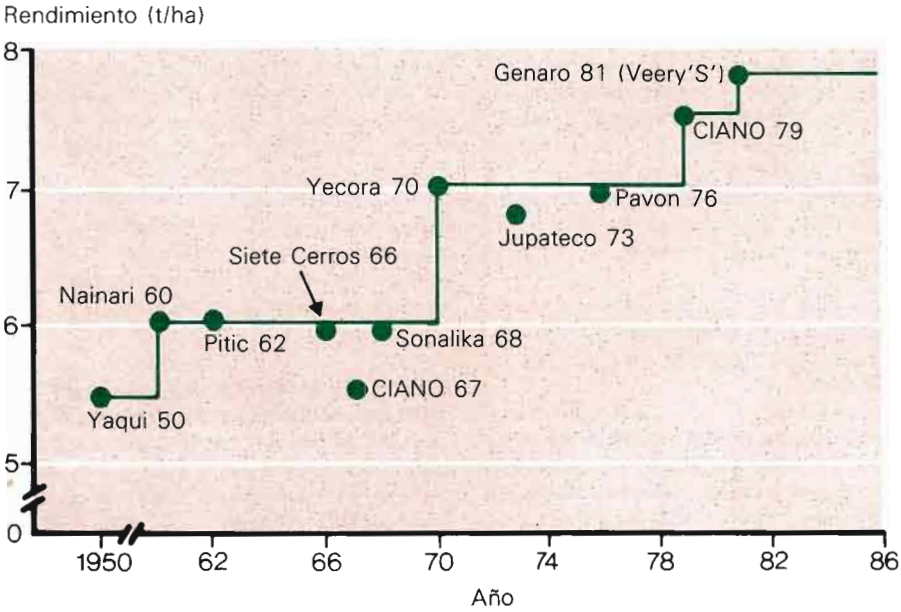


Figura 7. Rendimiento medio de variedades mexicanas en condiciones de manejo favorables.

Fuente: CIMMYT.

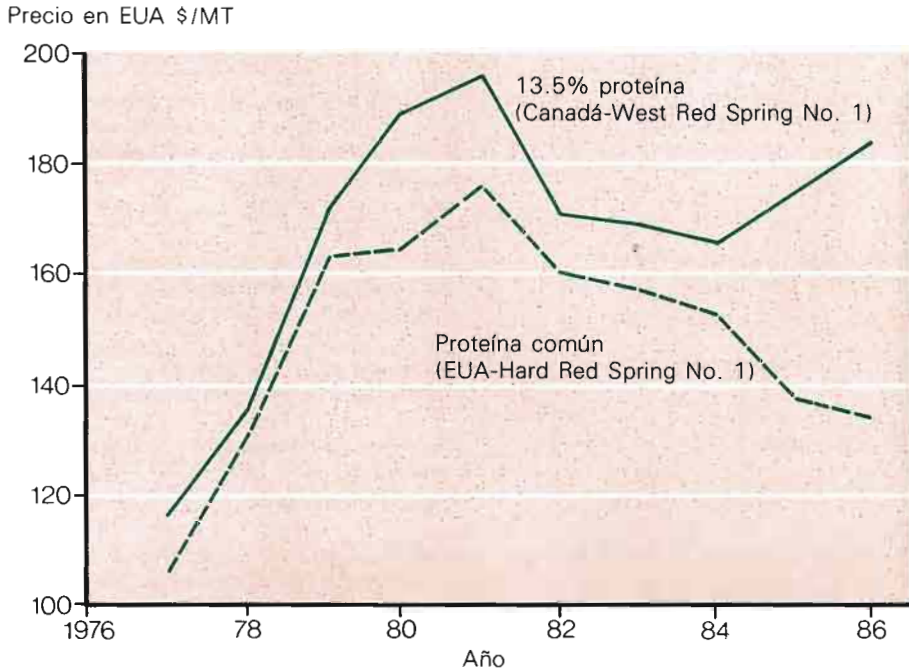


Figura 8. Precios internacionales influidos por el contenido proteínico y la calidad de grano.

(IRRI, 1986). La mayor parte de las variedades de alto rendimiento tienen una resistencia estructural a una amplia gama de plagas y agentes patógenos. De hecho, en 1964-65, la rápida aceptación en la India de las variedades semienanas de trigo de México obedeció en parte a su resistencia a la mayoría de los tipos de roya lineal y de la hoja que eran importantes en ese momento.

Es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos al formular una estrategia para aumentar aún más la producción:

1. Caracterización del medio ambiente y adaptación de variedades y técnicas de manejo a condiciones específicas de cultivo. Para obtener todo el provecho de un ambiente determinado, hay que realizar un trabajo detallado de acuerdo con los lineamientos de los análisis indicados en los cuadros 2 a 6 en relación con diferentes ecologías del trigo

en la India. Las limitaciones de producción y las necesidades de investigación señaladas en estos cuadros no están completas ni son globales, pero ilustran el tipo de labor detallada que se requiere para determinar las prioridades y estrategias de investigación.

Por fortuna, los últimos adelantos de la ingeniería genética brindan la oportunidad de transferir genes a través de barreras sexuales y de producir

Cuadro 1. Nitrógeno (kg/ha) requerido para un rendimiento de grano de 4 t/ha con diferentes contenidos proteínicos.

	Contenido proteínico (%)		
	12.5	13.75	15.0
Granos	80	88	96
Paja	20	29	32
Total	100	117	128

Cuadro 2. Las limitaciones de la producción de trigo y las necesidades de investigación: región noroeste de la India.

Problema	Posible solución
Retraso de la siembra: reducción del rendimiento	Desarrollar variedades de ciclo corto con un alto potencial de rendimiento. Aumentar la tolerancia al calor durante el llenado de granos. Aumentar la resistencia a las royas.
Crecientes problemas de aniego, salinidad y alcalinidad	Mejorar los sistemas de manejo del agua, en particular el avenamiento. Producir variedades tolerantes a la sal.
Carencias de micronutrientes	Aumentar el uso de estiércol. Fomentar una fertilización equilibrada.
Calidad del grano	Aumentar la eficiencia de la absorción de nutrientes. Ingeniería genética.
Aumentar el potencial de rendimiento	Mejorar la producción de materia seca. Examinar las posibilidades de fijar la heterosis mediante el cultivo de anteras y la ingeniería genética.
Malezas: avena silvestre y <i>Phalaris minor</i>	Adoptar rotaciones adecuadas. Medidas de lucha contra la maleza.

nuevos recombinantes. Los científicos especialistas en el trigo deben obtener los máximos beneficios de las nuevas oportunidades que ahora se presentan

para generar variabilidad mediante el cultivo de tejidos y las técnicas de la ingeniería genética (Swaminathan, 1986). Recientemente se ha demostrado

Cuadro 3. Las limitaciones de la producción del trigo y las necesidades de investigación: región central de la India.

Problema	Posible solución
Bajo rendimiento a pesar del riego	Sinergia en el uso de insumos— aumentar uso de fertilizante y área dedicada a variedades de alto rendimiento.
Corta duración	Crear trigos fotosensibles con resistencia duradera a las royas. Aumentar tolerancia al calor.
Rendimientos inestables debidos a la sequía	Mejorar la conservación de agua. Crear líneas isogénicas con variación en el largo de las raíces. Trigos invierno x primavera.
Bajos rendimientos de trigos duros	Enriquecer la base germoplásmica y crear variedades de alto rendimiento. Seleccionar para lograr resistencia a las royas del tallo, hoja y lineal.

Cuadro 4. Las limitaciones de la producción del trigo y las necesidades de investigación: región oriental de la India.

Problema	Posible solución
Temperaturas elevadas	Desarrollar variedades de ciclo corto duración con un alto potencial de rendimiento. Aumentar la tolerancia a temperaturas elevadas.
Mala cosecha debida a suelos con textura densa	Idear maquinaria e implementos sencillos para la labranza y siembra.
Suelos salinos	Mejorar el avenamiento. Medidas de restauración. Desarrollar variedades tolerantes a la sal.
Escaso empleo de insumos	Aumentar la distribución de créditos.
Enfermedades causadas por <i>Alternaria</i> y <i>Helminthosporium</i>	Producir variedades resistentes.
Semilla de buena calidad	Idear métodos de almacenamiento para mantener secas las semillas.

que el gen cloramfenicol acetiltransferasa bacteriano (CAT) puede expresarse en protoplastos del trigo (Ou-Lee, Turgeon y Wu, 1986) En Canadá, se ha notificado una gran eficiencia de regeneración vegetal con embriones inmaduros de Neepawa, una variedad de trigo muy cultivada.

2. Mejoramiento de los trigos duros. Se necesita un esfuerzo mucho mayor para mejorar los trigos duros (*Triticum*

turgidum var. *durum*). Etiopía, considerado un lugar de origen del trigo, tiene un clima similar al de la India peninsular. Los trigos de esta región eran, hasta hace pocos años, casi todos tetraploides, sobre todo duros y escanda. La virtual ausencia de trigos hexaploides sugiere que los duros se adaptan mejor a las altas temperaturas que los trigos harineros (*T. aestivum*). Los trigos duros tienen una masa más grande de aristas en relación con la masa total de espigas.

Cuadro 5. Las limitaciones de la producción de trigo y las necesidades de investigación: región occidental de la India.

Problema	Posible solución
Temperaturas elevadas	Aumentar la tolerancia al calor. Desarrollar variedades fotosensibles con resistencia duradera a la roya.
Baja densidad de plantas	Utilizar mayor densidad de siembra y variedades con menos macollos. Intercalar cultivos adaptados.

Cuadro 6. Las limitaciones de la producción de trigo y las necesidades de investigación: región meridional de la India.

Problema	Posible solución
Temperaturas muy elevadas	Seleccionar cultivos alternados.
Roya del tallo y otras enfermedades	Desarrollar líneas resistentes para el cultivo en los montes Nilgiri.

Cuadro 7. Aumento anual de aniego y salinidad del suelo, en varios proyectos de irrigación de la India (miles de ha).

Proyecto	Estado	Aniego	Salinidad
Gandak	Bihar y Uttar Pradesh	3.50	36.40
Ukai-Kakrapan	Gujarat	0.63	0.32
Mahi-Kadana	Gujarat y Rajasthan	3.90	1.70
Chambal	Madhya Pradesh y Rajasthan	7.59	3.08
Tawa	Madhya Pradesh	-	1.11
Canal Rajasthan	Rajasthan	3.92	2.65
Sarda Sahayak	Uttar Pradesh	5.72	0.94
Ramaganga	Uttar Pradesh	27.90	50.40

Fuente: Joshi & Agnihotri, 1984, Indian Journal of Agricultural Economics 39.

Esto es muy conveniente ya que en temperaturas altas es más estable el sistema de fotosíntesis de las aristas en relación con las hojas. En altas temperaturas, el índice de llenado de los granos es superior en los trigos duros que en los harineros. En vista de estas adaptaciones, deben seleccionarse con más energía los trigos tetraploides para su cultivo en la India central. La sensibilidad a enfermedades y al acame de los duros anteriores ya no es un problema grave, ya que se dispone de variedades semienanas y resistentes a las enfermedades. Los trigos duros pueden mejorarse aún más incorporando genes resistentes a las enfermedades tomados de sus parientes silvestres, así como de *T. aestivum*. También es necesario enriquecer nuestra base de germoplasma mediante la recolección de líneas de trigo duro en antiguas áreas de cultivo.


El contenido proteínico varía mucho en los trigos duros. Los estudios efectuados en la Universidad de Nebraska indican una gama del 7.3% al 21.7%, con una media de 12.75% y una DT de 2.86%. También el contenido de lisina varió entre 0.29% y 0.59%. En consecuencia, debería ser posible producir variedades con un mayor contenido proteínico. Con mucha frecuencia, el alza en el contenido proteínico lleva a una disminución de calorías. Por lo tanto, hay que tener mucho cuidado de no perder el potencial de rendimiento de granos cuando se seleccionan nuevas variedades con mayor contenido proteínico. El genoma D regula la calidad harinera de los hexaploides. En el caso de los trigos duros, la incorporación selectiva de cromosomas del genoma D relacionados con la calidad, como los ID, puede contribuir a mejorar la calidad harinera. Las recientes técnicas de la ingeniería genética y de cromosomas pueden servir para obtener nuevos recombinantes (Payne, 1986).

3. Cuidado del agua y la tierra. La naturaleza ha dotado a muchos países asiáticos de buenos suelos y abundantes recursos hidráulicos. Estos últimos se aprovechan cada vez más en el riego. En los últimos años, se ha extendido la

superficie dedicada al cultivo del trigo bajo riego. En los estados de Punjab y Haryana, India, se riega prácticamente toda el área de trigo; sin embargo, este preciado recurso no se utiliza con eficiencia. Ya que se dispone fácilmente de agua para irrigación, muchas veces se riega en exceso, lo que causa muchos problemas de inundación, salinidad y alcalinidad (cuadro 7). La magnitud de estos problemas puede reducirse considerablemente si se mejora el manejo del agua en los campos de los agricultores, así como el sistema de avenamiento. Otro método sería obtener variedades tolerantes a la sal. En consecuencia, si existen genes que determinan esta tolerancia, es cada vez más necesario identificarlos en el trigo y plantas afines.

Los cultivos intensivos también provocan la erosión del suelo y la consiguiente pérdida de la fertilidad original. Si bien los problemas de degradación del suelo no son nuevos, la agricultura de explotación puede acelerar el paso del deterioro de suelos sanos. En consecuencia, debemos crear prácticas de cultivo tales como la labranza mínima, para controlar la pérdida de valiosos recursos del suelo. Los cultivos continuos y los niveles altos de productividad también dan por resultado el agotamiento del suelo, en particular de los micronutrientes. Cada día hay más informes acerca de carencias de cinc, hierro, manganeso, azufre y cobre en las zonas de agricultura intensiva. La mayor parte de estos problemas se deben en parte a una disminución de materia orgánica en el suelo y pueden rectificarse hasta cierto punto aumentando el empleo de estiércol. Tendrá igual importancia el uso de fertilizantes con un equilibrio óptimo de nutrientes.

4. Salud de la planta. La eterna vigilancia es el precio de una agricultura estable. Es particularmente necesaria para proteger los cultivos del daño causado por agentes patógenos, plagas y malezas. Joshi, Singh y Srivastava (1986) han descrito la forma en que ciertas enfermedades, que antes no eran



importantes para el cultivo del trigo en la India, ahora lo son y viceversa. Por ejemplo, el carbón parcial del trigo (*Neovossia indica*) es ahora importante en el noroeste de la India, a pesar de que hasta hace poco se le consideraba una enfermedad de escasa trascendencia. Es necesario intensificar las investigaciones relacionadas con métodos para lograr una resistencia estable mediante procedimientos como el mejoramiento de múltiples líneas, el cultivo de diversas líneas genéticas (para evitar la homogeneidad genética) y la selección para obtener resistencia horizontal. Al mismo tiempo, hay que apoyar adecuadamente los sistemas de control y vigilancia de las enfermedades. Es aquí donde adquieren particular significado los viveros internacionales de observación y rendimiento distribuidos por el CIMMYT.

5. Aumento del contenido proteínico.

Disponemos de cuatro opciones para aumentar el contenido proteínico:

- introducir genes para obtener un mayor contenido proteínico en líneas convenientes mediante la selección tradicional o la ingeniería genética.
- aumentar la asignación de nitrógeno en favor de los granos (mayor índice de nitrógeno en la cosecha, mayor eficiencia de utilización).
- aumentar la aplicación de fertilizantes nitrogenados.
- aumentar la absorción de nitrógeno del suelo (eficiencia de absorción).

El rendimiento final de granos y el contenido proteínico de un grano de trigo son el resultado de numerosos procesos fisiológicos y biológicos que se producen durante el período de crecimiento. La cantidad de proteínas puede aumentar si hay más N para la absorción de la planta. Al proporcionar una disponibilidad estable de N, el rendimiento proteínico puede aumentar por medio de una mejor absorción de N del suelo (eficiencia de absorción), o por una mayor movilización de N desde los órganos vegetativos a los granos (eficiencia de utilización). Un rendimiento de granos de 4 t/ha con un contenido

proteínico de 12.5% requiere que el cultivo tome 100 kg N/ha (suponiendo un índice de nitrógeno en la cosecha del 75%). Si se necesita el mismo rendimiento con 15% de proteínas, entonces el cultivo necesitará tomar del suelo por lo menos 128 kg N/ha. Alternativamente, el índice de nitrógeno en la cosecha deberá aumentar de 75% a 96%. Esto último no es práctico ya que probablemente induzca a la descomposición rápida de las proteínas de las hojas y aumente la tasa de senescencia foliar, reduciendo así el rendimiento de granos. No parece práctico, por lo tanto, seleccionar para obtener un aumento de la eficiencia de utilización, pero sí se puede efectuar selección para incrementar la eficiencia de la absorción. En cierta medida, se dispone de variabilidad genética para obtener ese carácter. También hay que uniformar las prácticas de cultivo que reduzcan al mínimo las pérdidas de nutrientes.

6. Mayor eficiencia de los sistemas de cultivo.

En Bangladesh, Pakistán y el norte de la India, predomina la rotación arroz-trigo. Los dos cultivos parecen complementarse para el aprovechamiento óptimo de los recursos del suelo, ya que el arroz toma en gran medida sus nutrientes de las capas de la superficie, mientras que el trigo tiene una zona de alimentación más amplia. También puede ser ventajoso para el trigo la compactación, en la temporada de monzones, de los suelos de textura ligera usados para el arroz, ya que habrá así mejor retención de agua y nutrientes. A pesar de esta complementación, el rendimiento del trigo cultivado después del arroz es por lo general menor que cuando se cultiva después del maíz. Es preciso encontrar las razones e identificar las soluciones. Las posibles razones pueden ser los residuos de la cosecha de arroz, el piso de arado, el tiempo y tipo de labranza, la preparación del lecho de las simientes y una cosecha tardía del arroz. Todo esto lleva a una siembra tardía del trigo, lo cual, a su vez, expondrá la etapa del llenado de granos a temperaturas más altas que se sabe reducen el rendimiento (figuras 9 y 10).

En consecuencia, es necesario desarrollar variedades tolerantes a temperaturas más altas en la época del llenado de granos. Al mismo tiempo, es menester producir variedades de arroz con una alta productividad diaria que permita plantar el trigo en el momento exacto. Tenemos que reorientar los programas genéticos para satisfacer las necesidades de todo un sistema de cultivos y no de sólo un cultivo de la rotación.

Un buen enfoque sería seleccionar para obtener respiración de bajo mantenimiento. Esto ha sido utilizado con éxito en el caso de la soya y el ballico, y, por consiguiente, quizá también sea posible obtener tasas de respiración de bajo mantenimiento para el trigo. La pubescencia de las hojas y otros depósitos en la epidermis de las mismas son algunos mecanismos para reducir la temperatura foliar. Podría ser muy útil seleccionar para lograr una masa más grande de aristas, ya que éstas tienen una temperatura más alta, óptima para la fotosíntesis. Se han identificado proteínas para el choque de calor en muchas plantas de cultivo y se ha sugerido que la función de estas proteínas es la tolerancia al calor.

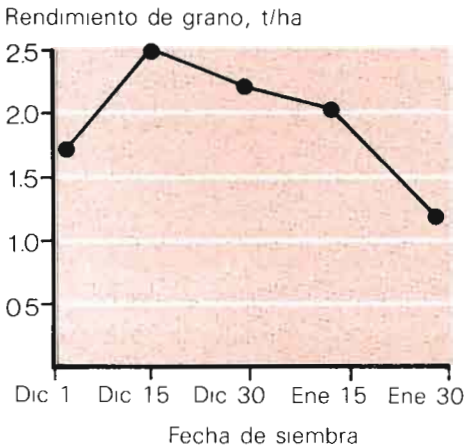


Figura 9. Respuesta del trigo a las fechas de siembra en Los Baños (14°N), Filipinas.

Fuente Aggarwal *et al* (1986)

Tendremos que investigar si es posible caracterizarlas e incorporarlas a líneas genéticas sin modificar su potencial de rendimiento. Los fisiólogos y fitogenetistas tienen que colaborar más estrechamente para seleccionar cepas genéticas y materiales segregantes.

En vista de la creciente presión impuesta a la tierra para sostener una población en crecimiento, tendremos que formular planes eficientes de aprovechamiento de la tierra. La rotación de cultivos debe recibir una mayor atención basada en las necesidades nacionales y la conservación de la productividad del suelo. Estos planes deben ser sostenibles desde el punto de vista ecológico y económicamente viables.

7. Resistencia a la germinación en la espiga. En los últimos dos años, las precipitaciones fuera de temporada en el norte de la India en abril y mayo dieron

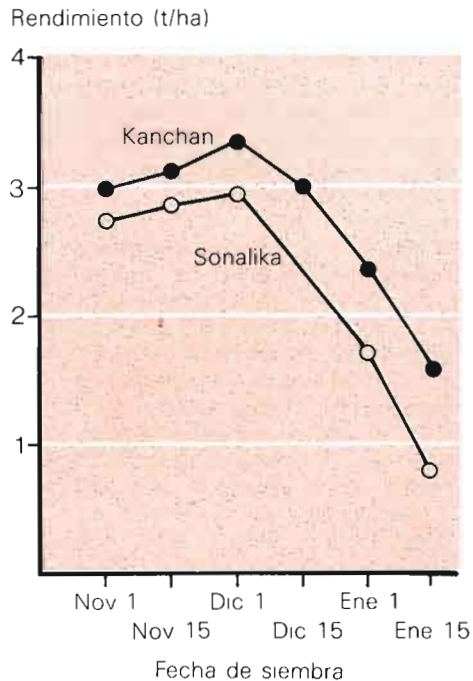



Figura 10. Respuesta del rendimiento de Kanchan y Sonalika en seis fechas de siembra en Bangladesh.

Fuente Butler, L (comunicación personal)



por resultado una considerable pérdida de la calidad del grano. Los granos a menudo germinan en las espigas. El retraso proyectado en la siembra y cosecha del trigo puede aumentar aún más la probabilidad de que la precipitación afecte los granos durante su maduración. Por esto, es conveniente crear líneas resistentes a la germinación.

El fenómeno de la germinación en las espigas es un proceso complejo que implica una serie de etapas, muchas de ellas afectadas por el ambiente. Dos grupos principales de isozimas alfa-amilasa tienen que ver con la germinación. Al parecer, los dos dependen de controles genéticos diferentes. Existe una considerable variabilidad genética con respecto a la tendencia a la germinación. Un examen exhaustivo de las especies silvestres afines puede llevar a la identificación de donantes de genes útiles. En el futuro, será indispensable saber más acerca de los mecanismos fisiológicos, en particular en relación con las fitohormonas que regulan los sucesos metabólicos básicos para el proceso de germinación. Hay que idear instrumentos analíticos sencillos pero confiables que permitan a los fitogenetistas examinar con rapidez una gran cantidad de material.

8. Mejores tecnologías después de la cosecha. El contenido de humedad del grano de trigo es un factor crítico desde la cosecha hasta el procesamiento. El trigo puede almacenarse con seguridad por unos meses si el contenido de humedad es inferior al 14%. Por consiguiente, es necesario fabricar secadores de grano en pequeña escala, basados en el empleo de la energía solar y residuos del cultivo. De igual importancia es el desarrollo de sistemas con escaso consumo de energía pero eficaces para el almacenamiento en gran escala de existencias estabilizadoras. A veces el agua se filtra en los silos y ocasiona la germinación de las semillas. Por lo tanto, es preciso inducir un letargo lábil a corto plazo en las semillas de trigo. Por suerte, existe una considerable variabilidad genética que permite seleccionar este rasgo.

Aumento del ingreso de los productores de trigo

Será difícil que los países en desarrollo den a los agricultores precios que requieran grandes subsidios a nivel del consumidor, dadas las vastas dimensiones del problema de la desnutrición en muchos de ellos. Por otra parte, el ingreso neto de los agricultores con dos ha o menos sigue siendo muy bajo, por lo que debemos formular estrategias para mejorar el ingreso de quienes cultivan el trigo. Algunos componentes de la estrategia son:

- Reducir los costos de producción sin afectar el rendimiento. Por ejemplo, hay que intensificar las investigaciones orientadas a fomentar el empleo de sustitutos producidos en la granja en lugar de productos químicos comprados en el mercado, como fertilizantes y plaguicidas.
- Deben diseñarse sistemas de cultivo del trigo para obtener un ingreso máximo sostenible de la tierra, el agua, la fuerza de trabajo y los recursos crediticios disponibles. En este contexto, la rotación arroz-trigo usada en el noroeste y el este de la India, Pakistán y Bangladesh, así como la rotación algodón-trigo, papa-trigo y otras rotaciones de cultivos posibles mediante el riego tendrán que establecerse de tal modo que todos los cultivos incluidos en la rotación puedan funcionar en forma fisiológicamente eficiente. Necesitamos más investigaciones sobre sistemas de cultivo del trigo para mejorar la eficiencia del sistema en su totalidad.
- Hay que intensificar los esfuerzos de investigación y desarrollo de la utilización de la biomasa. Por ejemplo, ahora es posible preparar numerosos productos de valor agregado a partir de la paja, hojas y granos. Los estudios de Munck y Rexen en Dinamarca (1986) han demostrado que existe una variación considerable en las características químicas de la paja. Un hallazgo interesante es que

algunas de las muestras vegetales tienen una alta producción de almidón y celulosa, medidas como rendimiento por hectárea. Investigaciones efectuadas en diversas instituciones de la India han revelado que se puede mejorar la calidad de la paja del trigo mediante tratamientos con amoníaco anhídrido y urea de grado fertilizante. Es importante que se estudien cuidadosamente las nuevas oportunidades que ahora existen de preparar productos de valor agregado a partir de todas las partes de la planta de trigo, y que se hagan elecciones adecuadas sobre la base de las oportunidades de comercialización.

Estímulo del consumo

Algunos países en desarrollo como la India han acumulado una considerable reserva de trigo y arroz a un alto costo. Desgraciadamente, la disponibilidad del superávit de trigo y arroz en la India no es uniforme en cuanto a la distribución geográfica. El traslado de grano de las áreas con excedente a las deficitarias implica altos costos de transporte.

Krishna y Chhibber (1983) han construido modelos para determinar las necesidades del sistema público de distribución en la India en años de buenas y malas cosechas. Las existencias gubernamentales crecen con regularidad y las pérdidas durante el almacenamiento complican la carga financiera originada por la inmovilización de capital. Sin importar el costo, hay que almacenar la cantidad de grano necesaria para mantener la reserva de seguridad alimentaria y para operar un sistema eficaz de distribución pública. ¿Qué pueden hacer los gobiernos con el balance?


Una solución conveniente a este dilema es el uso planificado del trigo como dinero para cubrir una parte del componente salarial del trabajo en los proyectos de desarrollo. Deben formularse políticas para integrar el dinero y el grano al prepararse el presupuesto para proyectos de desarrollo. En otras palabras, debemos

separarnos un poco más del criterio "Alimentos para el trabajo" y establecer políticas y procedimientos para utilizar los excedentes de granos producidos en el país como una importante fuente de recursos presupuestarios. El control de calidad de los granos será esencial para que tal criterio sea aceptado por aquellos que reciben granos en vez de efectivo. Ezekiel (1984) ha demostrado que el excedente de granos en la India, lejos de ser un problema, brinda una oportunidad de superar el doble reto del hambre y el desempleo.

En resumen, será necesaria una combinación de conocimientos, tecnologías intensivas e insumos tanto biológicos como químicos para apoyar y asegurar el éxito de la segunda etapa de la revolución verde. Podemos decir que la primera etapa de la revolución verde, que se inició en 1966 y concluyó en 1986, ha ayudado a refutar a quienes profetizaban la catástrofe y el desaliento, y llevó a las naciones en desarrollo al nacimiento de una nueva confianza en su capacidad agrícola. Ahora estamos entrando en la siguiente etapa, en la cual tendremos que enfrentar y resolver nuevos problemas.

Primero, debemos intensificar nuestros esfuerzos de investigación y capacitación, que pueden contribuir a aumentar y estabilizar la producción de trigo, maíz y otros cultivos, y a mejorar el bienestar económico de los pequeños agricultores mediante la diversificación de las oportunidades de mayores ingresos familiares.

En segundo lugar, debemos tratar de elevar más el tope máximo de rendimiento en condiciones de riego. En este contexto, se ha reavivado el interés en el trigo híbrido. Knudson (1986) ha sintetizado los últimos adelantos en relación con el desarrollo del trigo híbrido. Un factor importante será la viabilidad comercial de la tecnología del trigo híbrido. Según Knudson (1986), si se desea producir la misma cantidad de semilla, se necesita aproximadamente el doble de la tierra para la producción de semillas de trigo híbrido (37,692 acres),



que para los tradicionales programas de producción de semillas de trigo (25,000 acres). Sólo mediante estudios futuros se comprobará si el trigo híbrido puede llegar a convertirse en una realidad comercial.

Sean o no analfabetos, los agricultores son buenos economistas. Para ellos ver es creer.

Los diversos factores que intervienen en el aumento de la productividad de los cultivos están sintetizados en los documentos presentados en la Conferencia Internacional sobre la Productividad de los Cultivos—Revisión de los Imperativos de Investigación, llevada a cabo en Michigan en 1985. Desde un punto de vista estrictamente biológico, tal vez sea posible aumentar más el potencial de rendimiento del trigo si se puede aumentar el rendimiento biológico total por medio de una hibridación distante, seguida de una distribución eficiente del total de materia seca. En nuestro legítimo deseo de aumentar el rendimiento, no debemos sacrificar la resistencia a plagas y enfermedades. La estabilidad de la producción tiene la misma importancia. En este contexto, la función de las técnicas de la ingeniería genética debe ser cuidadosamente analizada.

Por último, la revolución verde en los países en desarrollo ha sido en esencia una empresa del sector público. La naciente "revolución de los genes", posible gracias al progreso explosivo de la genética molecular, es predominantemente una empresa del sector privado en el mundo desarrollado. La rápida difusión de las tecnologías de la revolución verde fue posible porque los resultados de las investigaciones se divulgaron con rapidez con el único propósito de ayudar al agricultor a aumentar su producción. Las tecnologías nuevas que se asocian con el amplio campo de la biotecnología brindan la oportunidad de añadir una dimensión de neutralidad de recursos a la neutralidad de escala en el desarrollo de tecnologías.

¿Podrán los pequeños agricultores de los países en desarrollo disponer de estas oportunidades como lo hicieron con las tecnologías de la revolución verde en el decenio de 1960? Es en este contexto en el que el papel del CIMMYT, como organización científica autónoma, sin fines de lucro ni filiación política, se vuelve tan importante para los países en desarrollo. A través de sus acuerdos de colaboración con instituciones similares de alto nivel, el CIMMYT puede contribuir a acelerar la transferencia de los beneficios de los últimos avances de la ciencia y la tecnología a los sistemas nacionales de investigación del Tercer Mundo.

Si bien en mi exposición me he referido únicamente al trigo dada mi participación personal en la investigación y producción de ese cereal, el trabajo del CIMMYT con respecto al maíz es igualmente laudable. De acuerdo con el grupo del GCIAI para los estudios de impacto, las variedades de maíz derivadas de material producido por el CIMMYT cubren 6 millones de hectáreas en más de 15 países. El grupo Tuxpeño de líneas de maíz del CIMMYT ha sido notable por su resistencia a las enfermedades. El mérito de la incorporación de la resistencia al virus del estriado en algunos maíces nuevos, realizada por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical, ha sido merecidamente reconocida mediante el Premio Rey Baudouin concedido por el GCIAI en 1986.

La ciencia y la tecnología son los factores más importantes para eliminar el muro que separa la pobreza de la prosperidad. El CIMMYT, al llevar a los agricultores del Tercer Mundo los mejores frutos que pueden producir los equipos multidisciplinarios de investigación, ha contribuido a aumentar el bienestar de numerosas familias rurales en las zonas tropicales y subtropicales.

Referencias

Aggarwal, P.K., S.P. Liboon y R.A. Morris. 1986. A review of wheat research at the International Rice Research Institute. Documento de investigación del IRRI. (En prensa.)

- Borlaug, N.E. 1985. "The magnitude and complexities of world food problems during the next doubling of population", Conferencia Nathaniel H. Grace sobre agricultura, 22 de octubre de 1985, Universidad de Alberta, Edmonton, Canadá.
- Ezekiel, Hannan. 1984. "Superávit de alimentos de la India", tres artículos reproducidos de *The Economic Times*, Bombay, India, 31 de octubre—2 de noviembre de 1984. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, 11 pp.
- Gibbs, M. y C. Carlson (eds). 1986. "Productividad de cultivos—revisión de los imperativos de investigación", conferencia realizada en Boyne Highlands Inn, 13-18 de octubre de 1985 y en Arlie House, 11-13 de diciembre de 1985. Grigg, D.B. 1984. "The agricultural revolution in Western Europe". In: *Understanding green revolutions*, editado por T.P. Bayliss-Smith y S. Wanmali, Cambridge University Press, Cambridge, pp.1-17.
- Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz, 1986. IRRI Highlights 1985. Los Baños, 101 pp.
- Joshi, L.M., D.V. Singh y K.D. Srivastava (eds). 1986. "Problems and progress of wheat pathology in South Asia", Malhotra Publishing House, Nueva Delhi, 401 pp.
- Knudson, M. 1986. The research and development on a biological innovation: the case of hybrid wheat. Universidad de Minnesota, Centro de Investigaciones para el Ordenamiento Estratégico, 57 pp.
- Krishna, R. y A. Chhibber. 1983. "Policy modeling of a dual grain market: the case of wheat in India", Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, Informe de Investigaciones N° 38, Washington, D.C. 75 pp.
- Mellor, J.W. 1980. Prólogo de "The Economics of the International Stockholding of Wheat", Informe de Investigaciones No: 18, septiembre de 1980. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, Washington, D.C.
- Munck, L. y F. Rexen. 1986. Informe de los proyectos de la CEE, 1985-1986. 20 pp.
- Ou-Lee, T.M., R. Turgeon y R. Wu. "Uptake and expression of a foreign gene linked to either a plant virus or *Drosophila* promoter in protoplasts of rice, wheat and sorghum". In: Actas de la Academia Nacional de Ciencias, EUA, Universidad de Cornell, Nueva York. (En prensa).
- Paddock, W. y P. Paddock. 1967. *Famine—1975*, Little, Brown & Company, Boston, 276 pp.
- Paulino, L.A. 1986. "Food in the Third World: past trends and projections to 2000". Informe de Investigaciones N° 52, junio de 1986. Instituto Internacional de Investigaciones sobre Políticas Alimentarias, Washington, D.C.
- Payne, P.I. 1986. "Varietal improvement in the bread-making quality of wheat: contributions from biochemistry and genetics, and future prospects from molecular biology", In: *Biotechnology and crop improvement and protection*, Monografía N° 34, publicaciones de la BCPC, Reino Unido, pp. 69-81.
- Swaminathan, M.S. 1984. "Nutrition and agricultural development: new frontiers". *Food and Nutrition*, 10(1):33-41.
- Swaminathan, M.S. 1986. "Plant research and world agriculture". *Plant Molecular Biology Reporter*, 4(1):1-17.

Logros y retos: Problemas relacionados con las políticas

G.E. Schuh

Desarrollo Agrícola y Rural, Banco Mundial, Washington, D.C., EUA

Es para mi un honor formar parte del programa que conmemora el 20 Aniversario de esta institución de importancia estratégica. El CIMMYT es un símbolo de la creatividad del hombre y, al mismo tiempo, un ejemplo de cómo la cooperación internacional puede promover el bienestar de toda la humanidad. Es una lástima que dicha cooperación no esté más difundida de lo que está hasta el momento. Pero rindámosle honores a lo que tenemos y felicitemos al CIMMYT y su personal, no por haber sobrevivido 20 años, sino por sus numerosos logros en ese período.

También estoy muy complacido por haber sido invitado a tratar uno de mis temas favoritos: los problemas relacionados con las políticas. Se me asignó la tarea de hablar acerca de los logros y los retos. No obstante, en realidad voy a dedicarme a los retos y los logros estarán implícitos en el análisis. De esta forma evitaré la tendencia crónica de los economistas a parecerse a los generales que pelean siempre la guerra pasada, y me concentraré en el futuro. Esto es importante ya que los retos que enfrentaremos en el futuro serán en verdad muy grandes.

Mis comentarios de hoy girarán alrededor de seis retos: (1) el reto del desarrollo agrícola en una economía internacional modificada; (2) el reto de la abundancia creciente; (3) el reto de elevar el ingreso per cápita de la población rural; (4) el reto de las reformas de las políticas mundiales; (5) el reto de la diversificación, y (6) el reto de las políticas científicas y tecnológicas. Terminaré mi exposición con algunas conclusiones.

El reto del desarrollo agrícola en una economía internacional modificada¹

Los últimos 25 años han presentado cambios notables en la configuración de la economía internacional y en las fuerzas económicas que la impulsan. Cuatro de estos cambios y acontecimientos tienen una importancia particular: (1) el crecimiento del comercio internacional, que por lo general se describe como una mayor dependencia del comercio; (2) el surgimiento de un gran mercado internacional de capital bien integrado; (3) la mudanza del sistema de tipos de cambio estables acordado en Bretton Woods, que rigió las relaciones internacionales en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial, a un sistema de tipos de cambio flotantes en bloque en 1973; y (4) el surgimiento de una considerable inestabilidad monetaria a partir de 1968.

Por desgracia, tanto quienes formulan las políticas como los economistas no han comprendido bien el significado de estos cambios, que nos han dado en realidad un Nuevo Orden Económico Internacional, a pesar de que no es lo que ha estado buscando la UNCTAD (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo). Tienen enormes repercusiones para quienes establecen las políticas preocupados por problemas de la política a corto plazo y para aquellos que se interesan en los objetivos a largo plazo del fomento del desarrollo agrícola. Por estas razones me gustaría hacer hincapié unos momentos en las repercusiones de estos cambios y acontecimientos.

Consideremos la creciente importancia del comercio internacional. Con la excepción de unos pocos años, en el período posterior a la Segunda Guerra

Mundial, el comercio internacional ha crecido con más rapidez que el PNB mundial, pero en el decenio de 1970 su crecimiento realmente se aceleró. En el caso de la agricultura, este crecimiento del comercio nos ha dado un verdadero sistema internacional de agricultura y alimentos. La agricultura es el sector de la economía internacional que está mejor integrado. Casi todos los países importan o exportan productos agrícolas y algunos realizan las dos actividades. Este sistema brinda a todos los países un mercado para su producción agrícola o una fuente de suministros para satisfacer las demandas de su economía interna. También ha eliminado virtualmente el hambre, excepto en los casos en los que los gobiernos nacionales no permiten que la economía internacional se entere de su existencia o la informan sólo cuando ya es demasiado tarde para resolver con eficacia difíciles problemas logísticos.

Otra consecuencia importante de esta mayor dependencia del comercio es que hace que las economías nacionales estén más abiertas a las fuerzas del comercio internacional. Esto quiere decir, por supuesto, que las economías nacionales están cada vez más fuera del alcance de las políticas económicas internas. Este es un fenómeno poco comprendido y la causa de gran parte de la frustración de las políticas nacionales y sus deficiencias en todo el mundo. En el caso particular de la agricultura, todavía pensamos a menudo en ella como una economía cerrada, centrándonos sólo en políticas económicas internas. Esto crea una gran cantidad de problemas analíticos y políticos.


Consideremos a continuación el surgimiento de un mercado internacional de capital bien integrado. Ese mercado es enorme en la actualidad. Por ejemplo, en 1984 el movimiento total de capital internacional llegó a 42 billones de dólares estadounidenses mientras que el flujo total del comercio internacional fue de sólo 2 billones de dólares. El movimiento de capital, no el comercio internacional, es la fuerza que ahora impulsa los mercados de divisas. Además, casi todos los países utilizan

este mercado y, por consiguiente, la interdependencia internacional se refleja tanto o más en los vínculos entre mercados de capital que en el comercio.

Aún pensamos en la agricultura como una economía cerrada; centrándonos sólo en las políticas económicas internas.

Son importantes dos consecuencias de este mercado. Primero, los cambios del valor de las monedas nacionales pueden ocultar por completo la subyacente ventaja comparativa durante períodos prolongados, un serio reto para quienes formulan las políticas de fomento del desarrollo agrícola. Segundo, la disponibilidad de este mercado de capital impone una doble restricción a los que establecen las políticas, con movimientos de capital que, por definición, tienen que compensar los déficit o los superávit del comercio. Esto, en ciertas circunstancias, amplía las opciones para quienes formulan las políticas. Pero, en otras condiciones, obliga a compartir la carga internacional en una escala no vista en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial. Expresándolo en la manera más obvia, si los países acreedores quieren que se les paguen sus préstamos, tendrán que aceptar importaciones de los países deudores, y a veces esto impone severos ajustes a los países desarrollados. Además, cabe señalar que ésta es quizá la primera vez en la historia reciente en que ha habido presión interna en forma de una liberalización del comercio. ¡Los banqueros realmente quieren que les paguen!

La mudanza a tipos de cambio flotantes en bloque tuvo una enorme importancia, pero apenas comenzamos a darnos cuenta de ella. En la mayoría de países el tipo de cambio es hoy el precio aislado más importante en la economía. Por otra parte, si se permite que flote el tipo de cambio, se convierte en un



medio de difundir ampliamente en la economía nacional los efectos de los choques externos, que facilita los ajustes internos para adaptarse a las modificaciones de la realidad internacional. Sin embargo, simultáneamente puede constituir por sí mismo una fuente importante de choques externos, como sucede cuando irracionales políticas monetarias y fiscales en un país tal como los Estados Unidos de América llevan a un aumento del valor del dólar.

Los cambios en el ambiente económico de la agricultura mundial amplían el temario de la política agrícola.

Existen otras tres repercusiones de la mudanza a tipos de cambio flotantes en bloque dignas de mención. En primer lugar, la combinación de un sistema de tipos de cambio flexibles y un mercado internacional de capital bien integrado hace que la agricultura, como sector del comercio, lleve la carga de los ajustes en respuesta a los cambios en las políticas monetarias y fiscales.² Esto representa una notable diferencia con respecto al período anterior, en el cual la agricultura estuvo casi por completo exenta de modificaciones de dichas políticas. Segundo, existe en la actualidad un fuerte vínculo entre los mercados financieros y los de productos. Por último, se producen fuertes efectos en terceros países como consecuencia de la reordenación de los tipos de cambio, a causa del carácter flotante del sistema cambiario.³

Finalmente, consideramos el problema de la creciente inestabilidad monetaria. Ya que la agricultura es hoy más vulnerable a la modificación de las políticas monetarias y fiscales dados los cambios antes mencionados, el aumento de la inestabilidad monetaria adquiere una importancia aún mayor. El auge de las exportaciones agrícolas estadounidenses en el decenio de 1970 es un buen

ejemplo. Irónicamente, en ese momento el auge se atribuyó al clima y a la eficiencia de los productores de ese país. Las pérdidas de cuotas de exportación estadounidense en el decenio de 1980 obedeció asimismo a un crecimiento sin precedentes del valor del dólar, aunado a rígidos programas de producción. En ambos casos hubo efectos complementarios provocados por otros factores, tales como la modificación de los ingresos per cápita.

Para concluir, hemos visto cambios enormes en el ambiente económico en el que se encuentra la agricultura mundial. Esos cambios amplían el temario de la política agrícola con políticas monetarias y fiscales, tipos de cambio y políticas de tipos de cambio, mercados internacionales de capital y políticas comerciales que ahora son, por lo general, mucho más importantes que los conocidos programas nacionales de producción.

El reto de la abundancia creciente

Las crisis mundiales de alimentos tienden a producirse más o menos cada diez años. El CIMMYT se creó en medio de uno de esos episodios, la crisis de 1965-66 en Asia. La siguiente, aproximadamente diez años después, a mediados del decenio de 1970, proporcionó los incentivos para establecer el sistema del GCIAl (Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional). De hecho, tanto el decenio de 1960 como el de 1970 se caracterizaron por la preocupación generalizada de que el aumento de la población en los países en desarrollo estaba creándonos un mundo malthusiano.

Por supuesto, los datos cuentan una historia diferente. La figura 1 muestra el precio real, o corregido según la inflación, del maíz y el trigo desde hace más de 100 años. Si los alimentos estuvieran cada vez más escasos, su precio real tendería a aumentar. Si fueran más abundantes, tendería a disminuir.

La figura ilustra una historia dramática. En vez de aumentar, el precio del trigo - un cereal de amplio consumo- ha tendido a bajar desde hace más de 100 años. Evidentemente existen recuperaciones periódicas, pero la tendencia es descendente y en cantidades importantes. A principio del decenio de 1980, el precio real de trigo era aproximadamente la mitad de su precio 120 años antes, en 1860. Además, el precio ha disminuido de manera significativa desde 1980.

El precio del maíz ha mostrado una caída similar, si bien el descenso comenzó apenas en el período posterior a la Segunda Guerra Mundial, con la difusión del maíz híbrido. El maíz es un cereal para el consumo humano en México y en gran parte de África. De modo más general, es un cereal forrajero y la caída de su precio ha hecho posible una gran expansión de los sectores ganadero y avícola en todo el mundo. Al igual que otros productos básicos, los precios reales de la producción avícola han sufrido una gran baja en la posguerra.

Esta abundancia creciente es en parte consecuencia del trabajo de centros como el CIMMYT, en especial en los últimos 20 años. Más generalmente, es resultado de la creciente capacidad de efectuar investigaciones agrícolas y de la nueva tecnología de producción, fruto de dicha capacidad. En cualquier caso, representa un enorme aumento del bienestar de la humanidad y ha evitado que muchos millones de personas padezcan malnutrición y estén expuestas a una posible muerte prematura. Sin embargo, esta abundancia creciente se está convirtiendo en un reto para quienes establecen las políticas. La prensa estadounidense está llena de historias acerca de "un mundo inundado de granos", de superávit y de la caída del comercio de los productos agrícolas. Todo esto, a su vez, ha llevado a cuestionar la racionalidad de brindar un apoyo continuo a las investigaciones agrícolas, tanto en programas nacionales como en sistemas internacionales.

Por supuesto, nada podría ser más absurdo. Todas las pruebas que tenemos muestran que la inversión en las

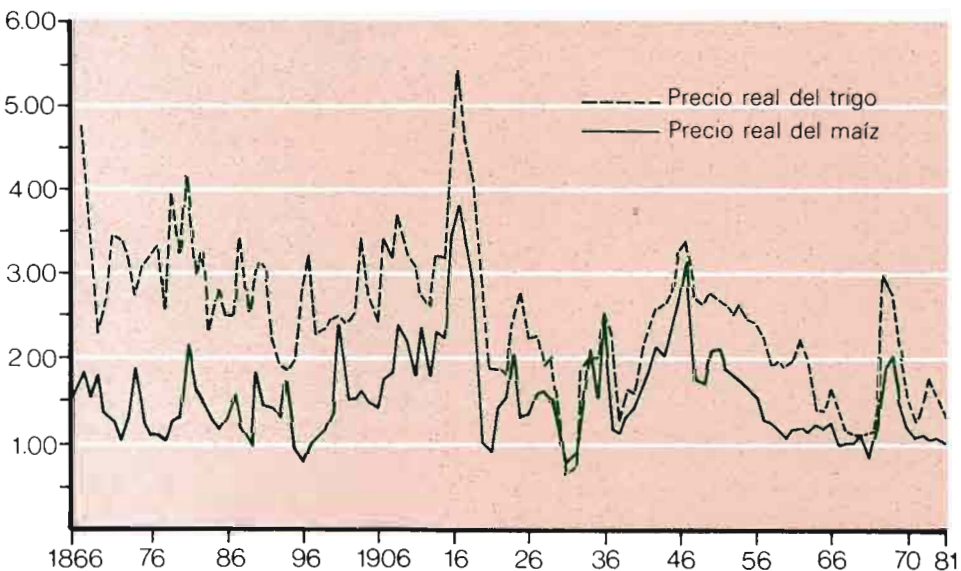



Figura 1. Precios de maíz y trigo ajustados por la inflación, 1966-1981.

Fuente: Martin, M V y R F. Brokken, "Grain Prices in Historical Perspective", Departamento de Economía Agrícola y Aplicada, Universidad de Minnesota, EUA (mimeografiado, 1982)



investigaciones agrícolas es una de las inversiones mejor recompensadas que puede hacer una nación o la comunidad internacional. Por lo tanto, el reto para quienes formulan las políticas es crear los medios institucionales por conducto de los cuales el excedente agrícola como lo entiende Nichol -una producción superior a la que se requiere para alimentar a la población rural a los precios en vigor- se movilice para desarrollar la economía como un todo. Esto requerirá el desarrollo de mercados viables de capital nacional y de sistemas fiscales eficaces, y la liberación del comercio internacional, tema que volveré a tratar más adelante.

Es poco probable que, en los decenios venideros, en los países en desarrollo algo sea más importante que esta capacidad de movilizar el llamado excedente agrícola y utilizarlo para el desarrollo de la economía en general. De igual forma, probablemente nada será más importante para la obtención de todos los beneficios del naciente sistema internacional de investigaciones agrícolas. Y en la medida en que la pobreza sea la causa principal del hambre y la malnutrición en la mayoría de países,⁴ nada podrá hacer más para reducir esos azotes de la humanidad.

El reto de elevar el ingreso per cápita de la población rural

El CIMMYT, al igual que otros centros internacionales de investigaciones agrícolas, fue creado en el crisol de una cruzada internacional conjunta contra el hambre. Si bien aún subsisten muchos problemas, esta cruzada -como se señaló antes- ha tenido un éxito notable en muchos aspectos. La capacidad mundial de producir y distribuir la nueva tecnología de producción crece de manera constante y, en la mayor parte del mundo, la producción aumenta con rapidez. De hecho, nuestro éxito ha sido tan grande que nuestra retórica de combatir el hambre puede resultar contraproducente, en especial cuando se reconoce cada vez más que los problemas del hambre y la malnutrición

en muchos países son un problema de ingresos y no de producción en sí. Por desgracia, el sistema del GCIAl, así como otros sistemas de investigaciones agrícolas, tiende a hacer hincapié en el aspecto de la producción.

En la sección anterior, hablé sobre la importancia de movilizar y utilizar el excedente agrícola para el desarrollo de la economía en general. El problema de la pobreza en las zonas rurales es un aspecto especial de este problema. El grueso de la pobreza en la mayoría de países -incluso en países tales como Estados Unidos- afecta a las zonas rurales. Además, la disparidad entre los ingresos per cápita de los sectores rurales y los correspondientes a los sectores urbanos está representada por un factor de dos o tres en la mayoría de países.

El sistema del GCIAl ha reconocido este problema, como lo demuestra en parte la atención que le brinda a los pequeños agricultores. Sin embargo, en su estrategia general de investigación ha prestado mucho menos atención al hecho de que el éxito de sus programas de investigaciones biológicas y físicas ha provocado que, a la larga, muchas personas abandonen la agricultura si desean ingresos semejantes a los que se obtienen en el sector no agrícola.

Nuevamente, será muy grande el reto para quienes formulen las políticas para el decenio siguiente. Si consideramos los próximos decenios, los problemas del reajuste de la fuerza de trabajo serán enormes en muchos países, y la gravedad del problema se asociará directamente con el éxito de los programas de investigaciones agrícolas, a menos que el mercado internacional absorba el período de inactividad. El reto será enfrentar este problema de tal modo que la fuerza de trabajo no tenga que soportar todos los costos del ajuste y que los factores negativos externos no se impongan a los sectores rurales.⁵ Esto hará necesario crear incentivos para la descentralización del proceso de industrialización hacia zonas en las que

abunde la fuerza de trabajo, así como programas de capacitación, educación y reubicación para promover la movilidad laboral.

El reto de las reformas de las políticas mundiales

Una característica importante de las políticas relacionadas con la agricultura mundial es que los gobiernos de los países en desarrollo tienden a una discriminación en perjuicio de su agricultura, mientras que los de los países desarrollados tratan de subsidiar la suya. Estos subsidios por parte de los países desarrollados está creando problemas cada vez más serios para los productores de los países en desarrollo, que venden sus excedentes a precios más bajos en el exterior y provocan la caída mundial de los precios.⁶ En consecuencia, provocan problemas a los países desarrollados. Al mismo tiempo, la pérdida de eficacia de los recursos y los grandes costos fiscales en el país impiden el crecimiento económico.

Es interesante observar que la crisis de la deuda internacional ejerce mucha presión sobre los gobiernos de los países en desarrollo, para que reduzcan la discriminación que perjudica su propia agricultura. La demanda de divisas para pagar esa deuda es la fuerza impulsora. Estas presiones se ven reforzadas por las condiciones crediticias del FMI, el Banco Mundial y donantes bilaterales, que exigen la racionalización del comercio, tipos de cambio y políticas agrícolas, y, en general, una perspectiva más orientada hacia la economía internacional.

Estas reformas de las políticas pueden ser un estímulo significativo para la agricultura, en especial cuando se dispone de la nueva tecnología de producción. Dada la dimensión de las distorsiones en su economía, tal vez China no sea el mejor ejemplo, pero muestra lo que *puede* suceder cuando se permite que las fuerzas del mercado operen con mayor libertad. A corto plazo, la devaluación de la moneda


nacional, la supresión de impuestos explícitos a la exportación, la reducción de aranceles aduaneros y de otras medidas proteccionistas pueden crear fuertes presiones de la competencia internacional. Sin embargo, a medida que estas medidas lleven a ritmos de crecimiento económico más rápidos, se producirá una tendencia a absorber una gran proporción de la mayor producción agrícola en la economía interna.

No es fácil hacer las reformas necesarias porque a menudo implican una importante redistribución de los ingresos. Los países desarrollados enfrentan el mismo problema. La diferencia es que en estos países no existen fuerzas económicas que los empujen hacia la liberalización. Además, como son ricos, probablemente puedan afrontar mejor que los países con bajos ingresos la pérdida de ingresos ocasionada por estas políticas. No obstante, la combinación de costos fiscales y el sacrificio del crecimiento económico es cada vez más grande.

Una parte final de las políticas en los próximos diez años probablemente será otra ronda de negociaciones del comercio multilateral auspiciado por el GATT. Tal vez nunca antes en la historia hayan sido estas negociaciones tan importantes para los países en desarrollo. Y probablemente nunca antes había sido tan importante para los países en desarrollo que los problemas agrícolas constituyan el primer componente y el núcleo del temario del GATT, y que se produzca una liberalización real del comercio agrícola.

El reto de la diversificación

Puede esperarse que los efectos fructíferos en la agricultura y, a la vez, en el desarrollo económico general, provoquen tres tendencias importantes de diversificación. Ya se habló con anterioridad de algunas, pero su relativa importancia justifica nuevos comentarios en el contexto del problema de la diversificación.



En la actualidad, el problema de diversificación más serio en la agricultura mundial probablemente sea la necesidad de diversificar el cultivo del arroz. Hay dos factores involucrados. El primero es el éxito que obtuvieron el Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz (IRRI) y los sistemas nacionales de investigación en Asia al elevar el rendimiento para satisfacer la demanda con menos hectáreas de cultivo. India e Indonesia son dos ejemplos notables donde la producción de arroz tiende a ser mayor que la demanda.

La nueva tecnología de producción es el motor que impulsa la agricultura en todo el mundo.

El segundo factor de la diversificación es un desplazamiento de la dependencia de los granos para el consumo humano hacia una mayor dependencia del ganado y de los productos pecuarios a medida que se eleva el ingreso per cápita. Este es principalmente un efecto de los ingresos. Por supuesto, el corolario es que la demanda de granos para el consumo humano aumentará en forma paralela. En consecuencia, se puede esperar que los productos de los que el CIMMYT es responsable sean más importantes en el futuro.

Finalmente, aunque quizá no sea cierto en el caso de algunos países, la economía agrícola mundial en conjunto enfrentará serios problemas de ajuste laboral a medida que avance el desarrollo agrícola. Si algunos países participan en el sistema comercial internacional, la demanda de su producción agrícola será relativamente elástica. No obstante, para las economías cerradas y para la demanda global de productos agrícolas, la demanda tenderá a no ser elástica con respecto al precio. Por consiguiente, el perfeccionamiento de la tecnología de producción que desplaza la curva de la oferta hacia la derecha, hará que los precios de los productos bajen

relativamente más de lo que lo haría el aumento de la producción. Esta caída de los precios hace que la mano de obra, y en cierta medida otros recursos, salgan del sector.

Este es un problema de diversificación en el contexto de una economía más amplia, pero no menos significativo que el que enfrentan los sectores de productos individuales. Como se mencionó antes, éste es uno de los retos más importantes que enfrentarán quienes formulen las políticas en el futuro si continuamos creando con éxito nueva tecnología de producción. Sin embargo, quiero hacer hincapié en que la comunidad internacional, que ayuda a producir el cambio de tecnología, debería estar dispuesta a apoyar las investigaciones necesarias para facilitar el proceso de ajuste. Como ya se señaló, esto implica la diversificación dentro y fuera de la agricultura hacia sectores no agrícolas. No facilitar este proceso es sacrificar una parte importante de los beneficios que se obtendrían con la nueva tecnología de producción.

El reto de las políticas científicas y tecnológicas

Los países en desarrollo están apoyando cada vez más las investigaciones agrícolas y el sistema del GCIAl y la comunidad de donantes en general están ayudando a que los sistemas nacionales sean todavía más productivos. Desgraciadamente, pocos países en desarrollo cuentan con algo que se asemeje a una política científica y tecnológica para la agricultura. Si bien este tema podría constituir por sí solo toda una ponencia, quisiera tocar sólo algunos puntos importantes.

Me referiré en primer término al problema de la investigación de mantenimiento.⁷ Los programas de mejoramiento que hacen más productivos los cultivos también los hacen más vulnerables a insectos y enfermedades. El Informe Anual del GCIAl correspondiente a este año describe de modo dramático los esfuerzos del IRRI para avanzar a la par de las mutaciones de las bacterias y

virus que afectan el arroz. Sospecho que los esfuerzos del CIMMYT para no quedarse atrás con respecto a los retos que plantean las enfermedades del trigo no son menos dramáticos. Esto quiere decir que quienes formulan las políticas deben equilibrar la demanda en cuanto a investigación aplicada, investigación básica, investigación estratégica e investigación de mantenimiento. Pocos de ellos tienen la capacidad analítica que les permita hacer elecciones inteligentes y fundadas en relación con estos problemas. Por supuesto, el Comité de Asesoría Técnica (CAT) abordó estas cuestiones, pero también carece de la capacidad analítica para hacer algo más que emitir juicios bien fundados.

En segundo lugar, están los problemas ambientales y la conservación, a los que hasta la fecha se ha prestado poca atención en los países en desarrollo. Su solución, como en muchos otros casos, requiere la contribución de una mejor base de conocimientos y acertadas políticas económicas. Los conocimientos más amplios deben provenir del aporte de biólogos y físicos por una parte y, por otra, de los sociólogos.

Tercero, una gran parte de mis comentarios anteriores sugieren que el sistema internacional está en gran medida subvirtiéndose en las investigaciones económicas y sociales. Existen 13 centros internacionales, pero sólo uno se dedica a la investigación de las políticas. Por otra parte, el informe anual del GICAI hace notar que sólo el 2% del presupuesto para investigaciones operativas del sistema se destina a la investigación de políticas. Sin embargo, mi exposición es una letanía de problemas relacionados con la movilización del excedente para un desarrollo económico más general, el aumento del ingreso per cápita en las zonas rurales, la formulación de políticas nacionales que pueden ser eficaces en la nueva configuración de la economía internacional, el potencial de reformas políticas, problemas de diversificación, etc. Además el punto central de cada caso fue que abordar estos problemas de

modo más eficaz aumentaría los beneficios del sistema de investigaciones agrícolas en general y disminuiría los incentivos para reducir los presupuestos de investigaciones agrícolas.

Finalmente, existe el reto de establecer una comunidad científica y tecnológica aún más amplia en la escena internacional. Está surgiendo un sistema internacional de investigaciones agrícolas constituido por los sistemas de investigación de los países en desarrollo, los 13 centros del sistema del GICAI y otros centros internacionales, y las instituciones de investigación en los países desarrollados. Si bien la integración de estos sistemas ha sido muy rápida en los últimos años, su cohesión es aún muy frágil. Todos tenemos mucho que ganar ayudando a integrar estos variados componentes en un sistema verdaderamente fuerte.

Conclusiones

Quisiera terminar haciendo notar cuán complementaria es una política económica sólida a la nueva tecnología creada por biólogos y físicos. La nueva tecnología de producción es el motor del crecimiento agrícola en todo el mundo. Pero no será adoptada sin los incentivos necesarios. Además, sin políticas económicas adecuadas, la mayor producción que resulte de la nueva tecnología no contribuirá eficazmente al crecimiento económico en general; en cierto sentido, la situación de los agricultores será peor en lugar de mejor, el desarrollo no se podrá sostener, ya que los problemas ambientales erosionarán la base de recursos naturales y la gente tendrá hambre en medio de la abundancia porque no tendrá los medios para comprar los alimentos disponibles.

Como debe haber quedado claro en mi exposición, nuestros retos son enormes. Por lo tanto, al felicitar al CIMMYT por sus primeros 20 años, pensemos también en los retos aún mayores que nos esperan. Y, mientras tanto, deseemos al CIMMYT por lo menos otros 20 años de prosperidad y productividad.

Notas

- 1 Expongo aquí algunas de las ideas que expresé en la Conferencia J.W. Fanning, "Promoting Development in a Changed International Economy" en el Centro de Educación Continua de Georgia, Universidad de Georgia, Athens, Georgia, EUA, 22 de abril de 1986.
- 2 Schuh, G.E. 1979. "Floating exchange rates, international interdependence, and agricultural policy", en *Rural Change: The Challenge for Agricultural Economists*, editado por G.L. Johnson y A.H. Maunder, Actas de la 16a. Conferencia Internacional de la Asociación de Economistas Agrícolas, Banff, Canadá, 3-12 de septiembre de 1979.
- 3 Para un análisis más detallado, véase Schuh, G.E. 1984. "Third-country effects of exchange rate realignments: The case of Brazil and Mexico", presentado en el Simposio sobre el Sistema Mundial de Alimentos, Facultad de Comercio de Harvard, Cambridge, Massachussets, EUA.
- 4 Véase El Banco Mundial. 1986. *Poverty and hunger: Issues and options for food security in developing countries*, a World Bank Policy Study, El Banco Mundial, Washington, D.C. EUA.
- 5 Para un análisis más detallado, véase Schuh, G.E. 1982. "Out-migration, rural productivity, and the distribution of income", en R.H. Sabat (ed.), *Migration and the Labor Market in Developing Countries*, Westview Press, Colorado, EUA, pp. 161-190.
- 6 Para una evaluación, véase El Banco Mundial. 1986. *World Development Report, 1986*, El Banco Mundial, Washington, D.C. EUA.
- 7 Plucknett, D.I. y N.J.H. Smith. 1986. "Sustaining agricultural yields: As productivity rises, maintenance research is needed to uphold the gains", *Bioscience*, 36(1):40-45.

Comentarios

W.P. Falcon

**Instituto de Investigación Alimentaria, Universidad de Stanford,
Stanford, California, EUA**

Yo también me siento honrado de figurar en el programa de esta mañana. En mi calidad de consejero del CIMMYT durante los últimos seis años, me siento en extremo orgulloso de los logros que ha alcanzado. Para que no vayan a pensar que se trata de un intento del CIMMYT de rellenar el programa, debo mencionar que al último momento me llamaron para reemplazar a John Mellor.

Deseo elogiar a Ed Schuh por su ponencia; es de lo mejor de Schuh, está enfocada hacia el futuro y contiene sus características más importantes, que resultan evidentes para todos los que han leído sus trabajos anteriores:

- el énfasis en la importancia de la macropolítica;
- la importancia de las ganancias obtenidas en el comercio, y
- el alto rendimiento de las inversiones en la investigación de los sistemas agrícolas.

Tengo poco que objetar, ya que la ponencia contiene infinidad de piedras preciosas y el penúltimo párrafo es la joya más relevante. Les suplico que la lean; de hecho, les pido que la enmarquen, ya que constituye una relación maravillosa del problema alimentario mundial y de la forma en que se complementan la investigación de la política económica y el aspecto biológico de la producción agrícola.


La economía es una ciencia deprimente; nunca parecemos estar satisfechos. No obstante, les pido que piensen un poco en el X aniversario del CIMMYT; piensen en el problema del que hablábamos entonces: la escasez de grano. El punto de vista prevaleciente, aunque no era compartido por Ed Schuh, era aumentar los precios reales de los granos; nos estrujábamos las manos. Ahora bien, ¿puede ser que el mundo empeore

cuando tenemos precios más altos y que también empeore cuando tenemos precios más bajos? Considero que Ed ha tenido mucha razón esta mañana al señalar los grandes beneficios que hemos alcanzado, y estoy seguro de que los problemas inherentes al progreso y a la abundancia son preferibles a los de la escasez y el hambre.

Es dentro de este amplio contexto de una perspectiva que abarca toda la economía que creo que Ed ha hecho una importante aportación a esta sesión. Si bien estoy de acuerdo en términos generales con lo que dice, me gustaría cuestionar cuatro puntos en los que pienso que sus sentimientos y esperanzas pudieron haber interferido en su juicio práctico de lo que es la realidad.

¿Cuáles son esos cuatro puntos? Nunca he subestimado el poder de los banqueros (mundiales o de otro tipo), pero en realidad me pregunto si el servicio de la deuda puede llevar a los países desarrollados o en vías de desarrollo a la liberalización del comercio. Ed, espero que tengas razón y temo que no la tengas. No cabe duda de que las fuerzas del proteccionismo en todo el mundo, sin importar las reuniones celebradas en Uruguay, constituyen una fuente importante de preocupación. Sin embargo, no creo que el servicio de la deuda provoque la liberalización que necesitamos.

En segundo lugar, haces una defensa excelente de las ganancias obtenidas en el comercio. Es tan lógica, que resulta difícil dudar de que llegue a triunfar, pero en mis viajes por el mundo, me he sentido impresionado por las fuerzas de la autarquía, de mirar hacia dentro y no hacia fuera, hecho que estimo especialmente cierto en el caso de



Africa. Si bien se han producido ciertas mejoras en los últimos tiempos, me preocupa sobremedida parte del sentido, pero, lo que es más importante, mucho de la falta de sentido, que se encuentra bajo el encabezado de la autosuficiencia. No me parece que los países y los centros que prestan sus servicios a esos países, se ayuden a sí mismos al tratar de producir determinadas cosechas en lugares donde no deberían producirse. Gastar cinco dólares para salvar uno de esos cultivos, supuestamente en beneficio de la autosuficiencia, no es una buena forma de resolver el problema. Sé que estás de acuerdo con ello, Ed; sólo me gustaría que una mayor parte del mundo también lo estuviera, y temo que eres demasiado optimista al promover las fuerzas del comercio y la forma en que nos ayudarán en los próximos años.

Estoy seguro de que los problemas inherentes al progreso y la abundancia son preferibles a los de la escasez y el hambre.

En tercer lugar, aunque tomo muy en serio tus comentarios sobre el hecho de que las finanzas empantan los aspectos comerciales reales de nuestras relaciones internacionales, me siento confundido por los retrasos que se producen en respuesta a los movimientos de los tipos cambiarios. Por ejemplo, me gustaría haber pensado que en el caso de Estados Unidos, el reciente deslizamiento del dólar se produciría antes y no después, pero no fue así. No albergo ninguna duda sobre los efectos a largo plazo del tipo de cambio, que es, como señalaste, el precio más significativo en la economía. No obstante, me siento aún más confundido por la respuesta a corto plazo y, sobre todo, por la forma en que ciertas políticas, relativas a los productos de primera necesidad o a otros aspectos, pueden obstaculizarla.

Por último, me preocupan las bases estratégicas y tácticas sobre la situación general de varios países de ingresos medios. En cierto sentido, lo que hizo que funcionara la economía agrícola mundial de 1965 a 1982 fue una serie de países (podemos citarlos: Corea del Sur, Taiwan, Singapur y Nigeria, así como México antes de la crisis petrolera) que creó la idea de que con el crecimiento, y también con el desarrollo agrícola, los países podrían resolver mejor sus problemas y podrían importar más de otros países. Había una supuesta paradoja, que pienso es correcta en cuanto a la década de los 70, de que los países que obtenían mejores resultados en el ámbito de la agricultura eran también los que más importaban. Me preocupan dos cosas respecto a las décadas de 1980 y 1990. ¿De dónde vendrá ese nuevo grupo de países que ayudará a impulsar el sistema alimentario mundial y a darle de nuevo cierto auge? Si bien es cierto que el superávit es mejor que la escasez, el proceso de los artículos de primera necesidad todavía causa un sinnúmero de problemas de política en los países de todo el mundo.

¿De dónde vendrán esos países? ¿Cuáles serán las fuerzas impulsoras? No cabe duda de que los países mencionados de ingresos medios fueron las fuerzas impulsoras de las economías de alimentos durante la década de 1980. Esto tiene una importancia más que estratégica; me parece que para los centros es de importancia táctica. Si no podemos lograr que los países en vías de desarrollo que obtengan mejores resultados sean también los que importen más y se conviertan en miembros más grandes de la comunidad económica mundial, tengo el presentimiento de que los problemas de financiar un volumen cada vez mayor de investigación agrícola empeorarán en lugar de mejorar.

Por supuesto, abrigo la esperanza de que esos países avancen. Espero que los hallazgos del decenio de 1970 (es decir, que los países que obtuvieron los

mejores resultados desde el punto de vista agrícola también pasaron a formar parte del sistema comercial mundial en una forma por demás importante) continúen durante los 80. Pienso que esto es lo que quieres dar a entender; me gustaría estar más seguro acerca de dónde se encuentran tales países y de cómo va a funcionar el asunto.

Al mirar hacia el futuro, existen tres problemas de los que me hubiera gustado que hablaras más, Ed, aunque tal vez esto surja con la discusión. Salvo algunas reservas importantes en cuanto al corto plazo, estoy de acuerdo con lo que dijiste acerca de que el precio real del maíz y el trigo está disminuyendo. ¿Qué piensan hacer los encargados de elaborar las políticas al respecto? Se trata de un asunto de vital importancia. Si nos adelantamos cinco años en las inversiones en investigación, irrigación y conservación de agua, por ejemplo, ¿qué debemos planificar en forma realista en cuanto al precio del trigo, maíz, arroz y demás productos básicos al tomar las decisiones relativas a la inversión? No creo que los precios internacionales vayan a ser, de alguna manera, dados por Dios, como el Santo Grial, aunque a plazo medio determinen los costos básicos de oportunidad con los que los países deben tratar. Me pregunto qué piensan sobre los años venideros y si consideran que los precios actuales son los que deben emplear los países y centros al evaluar las oportunidades de inversión en sus productos básicos particulares. Estimo que se trata de un verdadero problema.


Aunque los niveles de precios son difíciles, me parece que, para los gobiernos, la inestabilidad de los precios es algo todavía más difícil. Pienso que en este caso la pregunta más importante es: ¿Cuándo se divorcian los países de los mercados mundiales? y ¿cuándo deben seguir los movimientos del precio mundial? Afirmar que uno sigue los precios mundiales no representa, pienso yo, ninguna ayuda. Considero que para muchos países seguir de inmediato los precios mundiales sería de verdad muy

tonto, si se tiene en cuenta la inestabilidad y el nivel al que los países desarrollados siguen en la actualidad imponiendo sus problemas de ajuste a los países en vías de desarrollo. Esta mañana se refirieron a este problema en una forma por demás elegante.

Si no logramos establecer la tesis de que los países en desarrollo que progresan más son también los que importan más y se convierten en miembros más grandes de la comunidad económica mundial, pronostico que los problemas de financiar la investigación agrícola empeorarán en lugar de mejorar.

¿Cuáles son las reglas fundamentales para la elaboración de políticas o para el empleo de los precios internacionales? No considero que los centros, el Banco Mundial, la comunidad académica ni ninguna otra institución haya manejado hasta el momento ese problema en forma apropiada. Sobre este punto, empleamos una teología un poco obsoleta y necesitamos ampliar nuestras perspectivas al respecto.

Para finalizar, pienso que debiste haber comentado un poco más, Ed, acerca del papel que desempeñan los centros en la política. Pienso que estaba implícito en lo que dijiste. Pido disculpas si me desvío un poco hacia un delicado problema del CAT, pero me parece que dada la letanía de problemas que mencionaste, los centros tendrían que hacer más, y no menos, investigación sobre las políticas. Soy un fanático del Instituto Internacional de Investigación de Políticas Alimentarias (IFPRI); considero que han realizado una labor notable, sobre todo en cuanto se refiere al consumo, pero no estoy de acuerdo con el argumento de que como un centro del sistema lleva a cabo



investigaciones sobre las políticas, ningún otro centro del sistema tiene derecho a hacerlo.

Así pues, la pregunta es: ¿Cuál es el lugar adecuado de un centro como el CIMMYT o el Instituto Internacional de Investigación del Arroz (IRRI) o de cualquier otro centro basado en artículos de primera necesidad en cuanto al análisis de las políticas? Siento un interés personal en el asunto, debo dejar esto sentado desde el principio, pero me gustaría proponer un par de cosas. Pienso que un método más apropiado es concentrarse en la política alimentaria y no en la política agrícola. Por política alimentaria quiero decir el interés en la producción, consumo, comercialización y comercio, todo en el contexto del macroambiente. No considero que los países recurrirán a los centros en busca de consejo ni les consultarán sobre si deben devaluarse; no pienso que ello sea adecuado. Estimo que pueden con todo derecho recurrir a los centros en busca de dirección y para obtener mayores conocimientos respecto a la creciente cantidad de sustituciones que tienen lugar en el mundo, tanto en la producción como en la diversificación, así como sobre los asuntos relacionados con el consumo y con el intercambio que existe entre distintos tipos de productos alimentarios (problemas mucho más importantes en un mundo cada vez más urbanizado). Pienso que se ha demostrado ampliamente que, en el caso de los principales productos y de algunos países, es posible tener una inherencia importante en la elaboración de las políticas agrícolas.

Por último, apruebo en forma rotunda la labor que se realiza en el CIMMYT sobre el análisis de costos de los recursos

nacionales, por medio del cual se trata de tener un conocimiento más profundo de regiones específicas del mundo en las que la economía tiene una ventaja especial al producir determinados tipos de cultivos. Considero que es relevante para el CIMMYT en cuanto se refiere a la orientación de las políticas y también en cuanto se relaciona con la asignación de los recursos destinados a la investigación.

Terminaré en unos momentos, pero no deseo hacerlo todavía, Ed, ya que quiero volver a algo que dijiste; mencioné el penúltimo párrafo de tu ponencia al principio de esta charla y, para finalizarla, deseo leerlo una vez más; éste es el mejor cumplido que puedo hacerte:

La nueva tecnología de producción es el motor del crecimiento de la agricultura a nivel mundial, aunque no se adoptará si no se dan los incentivos adecuados. Sin embargo, si no se cuenta con las políticas económicas apropiadas, el mayor rendimiento generado por la nueva tecnología no contribuirá en forma eficaz al crecimiento general de la economía. En un sentido relativo, la situación de los agricultores empeorará en lugar de mejorar y el ritmo de desarrollo resultará insostenible porque los problemas ambientales erosionarán la base de los recursos nacionales y la gente padecerá hambre en medio de la abundancia porque no tendrán los medios suficientes para comprar los alimentos existentes.

Considero que se trata de una declaración maravillosa y pienso que constituye el meollo de lo que has dicho aquí.

El papel de la ciencia y la tecnología en la producción del maíz y el trigo

M.H. Arnold
Cambridge, Reino Unido


El trigo y el maíz son dos de los cultivos alimentarios más importantes en los países en desarrollo, que ocupan el segundo y el tercer lugar después del arroz. En los dos últimos decenios se han observado aumentos espectaculares en la producción y el rendimiento del trigo en esos países, en particular como cultivo de invierno, favorecido por la precipitación pluvial en climas mediterráneos o el riego en regiones subtropicales. Sin embargo, han sido menos generalizados los incrementos semejantes en la producción del maíz y más esporádicas las repercusiones de la nueva tecnología (Anderson, 1986). Es más pequeña la proporción de maíz que se cultiva por medio del riego y gran parte de la cosecha está sujeta a las variaciones incontrolables de los ambientes característicos de los países del Tercer Mundo en regiones tropicales. Cuando se carece del riego, los ambientes más húmedos ofrecen un amplio campo de acción para aumentar la producción pero, dado que son muy vulnerables a los daños que resultan de una agricultura mal dirigida, también son una causa frecuente de preocupación.

En consecuencia, cuando pensamos acerca del papel de la ciencia y la tecnología en la producción del maíz y el trigo, debemos hacerlo tomando en cuenta las circunstancias cambiantes de los países en desarrollo y las diversas apreciaciones de los científicos, de quienes establecen las políticas y del público en general. Estas consideraciones incluyen la urgente necesidad de detener el uso indebido de ambientes vulnerables, como los métodos inadecuados de labranza que provocan la degradación, erosión y desertificación del suelo. Al mismo tiempo, debemos continuar desarrollando tecnologías que brinden sistemas de producción mejorados y viables con reducidos costos unitarios.

En el constante debate acerca de cómo atacar mejor estos problemas, algunos comparten la opinión de que lo que puede llamarse la "tecnología de la revolución verde" es a menudo inadecuada. Esta propone el uso en gran escala de variedades uniformes y la adquisición de productos químicos, medidas que están fuera del alcance de la mayoría de los pequeños agricultores. Por el contrario, el desarrollo de la "tecnología agroecológica" sería, de acuerdo con este punto de vista, más adecuado, ya que incorporaría los principios de los sistemas tradicionales de cultivo y haría hincapié en la diversidad, la lucha biológica contra plagas y enfermedades y el reciclado de nutrientes por medio de la materia orgánica (Altieri y Anderson, 1986).

Si bien nadie podría negar el mérito de los principios que sustentan estas filosofías, la realidad es que la explosión demográfica nos está acosando y no podemos escapar de sus repercusiones y de la urgencia de encontrar soluciones a los problemas que nos plantea. Necesitamos revoluciones verdes y, al responder a estas críticas válidas, no debemos permitir que la imagen de la "tecnología de la revolución verde" se vea empañada porque algunos han promovido tecnologías inadecuadas en su nombre. El papel de la ciencia y la tecnología es seguir contribuyendo a las revoluciones verdes, pero hay que hacerlo de maneras acertadas desde el punto de vista ecológico y tomar en cuenta las circunstancias sociológicas, económicas y políticas.

Aún cuando los problemas ambientales parecen enormes cuando se piensa en el futuro, la contribución de las variedades mejoradas para aumentar y hacer más estable la producción seguirá siendo de fundamental importancia. El uso de estas



variedades continúa siendo para el agricultor una de las innovaciones más eficaces en relación con su costo. La ciencia siempre ha brindado oportunidades para acelerar el progreso de la fitogenética y adelantos recientes de la biotecnología ofrecen estimulantes posibilidades de mejorar los genotipos con mayor rapidez en el futuro.

Estos elementos básicos de todos los sistemas de producción, el medio, el genotipo y sus interacciones complejas, proporcionan un marco conveniente para discutir el papel de la ciencia y la tecnología en la futura producción de maíz y trigo en los países del Tercer Mundo.

La ciencia y la tecnología deben fomentar las revoluciones verdes, pero de manera acertada desde el punto de vista ecológico y tomando en cuenta las circunstancias socioeconómicas y políticas.

El ambiente

El punto principal en cualquier discusión acerca del ambiente en relación con la producción de cultivos en regiones tropicales, debe ser la disponibilidad de agua y su manejo, teniendo en cuenta la conservación del suelo y la nutrición de las plantas. Esta afirmación siempre es válida, ya sea que con el término "agua" nos refiramos a la precipitación pluvial o al riego. Aunque en este sentido se aplican principios similares en la mayoría de las regiones tropicales y de una amplia gama de cultivos, yo los ilustraré en relación con Africa al sur del Sahara y su potencial de aumentar la producción de maíz.

Hasta el momento en Africa se ha regado una proporción de tierra cultivable menor que en la India (Eicher, 1986). Esto es particularmente cierto en Africa al sur del Sahara, donde la posibilidad inmediata de proyectos de

riego productivos es limitada. No obstante, siguiendo la experiencia de la India, debemos investigar los factores que restringen el empleo del agua en pequeña escala en Africa, donde está mucho menos desarrollada la tradición del riego de la tierra, ya sea por medio de pozos, perforaciones o estanques. Con respecto a esto, es preciso explorar minuciosamente en Africa el trabajo realizado por el Instituto Internacional de Investigaciones sobre Cultivos en los Trópicos Semiáridos (ICRISAT) en el manejo de pequeñas cuencas y la recolección del agua de escurrimiento en estanques. Los comprobados aumentos del rendimiento del sorgo que resultan del uso de pequeñas cantidades de agua almacenada en períodos críticos (Krantz y Kampen, 1977), por ejemplo, representan un método que bien puede aplicarse en la producción de maíz.

Otras posibilidades para el empleo más eficaz del agua disponible incluyen un mayor uso de las extensas tierras pantanosas africanas. Si bien se necesitará tiempo para resolver los problemas sociológicos del manejo colectivo de este tipo de zonas, la prioridad fundamental es erradicar las graves enfermedades del hombre, (paludismo, bilharzia y ceguera del río) que limitan tanto las posibilidades de su uso intenso en el presente.

A pesar de que el uso eficaz del agua de superficie y el empleo cada vez mayor del riego en pequeña escala deben contribuir más al porvenir de la agricultura africana, la expansión de la producción en el futuro inmediato tendrá que depender fundamentalmente del aprovechamiento más eficaz del agua de lluvia.

Patrones de distribución de las precipitaciones

Los primeros trabajos sobre la distribución y expectativas de la precipitación pluvial en Africa tropical (Manning, 1950) prometían brindar un marco para la planificación de las secuencias de cultivo y para modificar los períodos de maduración de los distintos cultivos mediante el empleo de

la fitogenética, de manera que se ajustaran mejor a los patrones esperados de precipitación (Hutchinson, Manning y Farbrother, 1958). La aplicación de estos principios en regiones de escasa precipitación en Kenya, por ejemplo, hizo que Dowker (1971) produjera poblaciones de maíz de madurez precoz. Estimó que el período confiable de precipitación era tan sólo de 60 días y que el cultivo debía florecer dentro de ese período para madurar a partir de las reservas de humedad del suelo. Aunque el maíz es menos tolerante de la sequía que el sorgo, Dowker sostenía que lo que se requería básicamente era una madurez temprana, cualquiera fuera el tipo de cultivo. Después de experimentar con una gama de especies de maíz y sorgo, concluyó que el maíz ofrecía mejores posibilidades que el sorgo en cuanto a brindar el grado necesario de precocidad. Asimismo, la población local prefería el maíz como cultivo alimentario y este cereal tenía la ventaja de ser menos vulnerable al daño causado por los pájaros. Los compuestos Katumani que produjo mejoraron mucho la fiabilidad del suministro de alimentos en grandes zonas de Kenya (Harrison, 1970).

El conocimiento más preciso de la distribución esperada de lluvias también puede constituir un instrumento experimental útil. Variando las fechas de siembra, puede usarse, por ejemplo, para estudiar los efectos de la falta de agua sobre las diferentes etapas de desarrollo de las plantas. Este procedimiento ha sido utilizado en el mejoramiento para aumentar la tolerancia a la sequía de distintos cultivos, incluyendo el triticale (Nachit, 1985), a pesar de que es difícil y complejo mejorar la tolerancia a la sequía y que se han utilizado muchos criterios para la selección en el caso del maíz (Trapani y Gentinetta, 1984) y del trigo (Austin, en prensa). Aunque se han recomendado numerosas pruebas de tolerancia a la sequía a lo largo de los años, pocas han perdurado y el avance del mejoramiento ha sido, cuando mucho, esporádico. Cabe señalar que ésta es un área de

investigación muy importante en la que la ciencia tiene que contribuir mucho más.

Si bien el criterio general de estimar la probabilidad de las precipitaciones y la evaporación potencial permitirá planear estrategias de producción de cultivos en Africa (véase la reseña de Rijks, 1984), el éxito se ha visto frustrado por la variabilidad de los patrones climatológicos y la dificultad de predecirlos. Los intentos de pronosticar la persistencia de una distribución particular de las lluvias en un lugar determinado fracasan a causa de fenómenos tales como la existencia de periodicidades significativas pero irregulares en los patrones de precipitación (para una recapitulación de éste y otros aspectos, véase Farmer y Wigley, 1985). Toda esta inseguridad sirve para destacar los riesgos de la experimentación a corto plazo, ya sea en sistemas de cultivo, la agronomía o el mejoramiento de cultivos.

A pesar de todas las dificultades, ésta es un área en la cual la investigación científica constante podría llevar a resultados de aplicación universal. La trascendencia de la definición de zonas agroecológicas, no sólo en términos de precipitación y evaporación sino también en cuanto a plagas y enfermedades, es fundamental para la planificación de investigaciones aplicadas y representa una actividad importante para los centros internacionales. El CIMMYT va a la cabeza en la acumulación de información para definir las zonas agroecológicas del maíz y el trigo, pero se requerirá mucho tiempo para llegar a la metodología adecuada. En particular, es necesario relacionar más estrechamente el análisis de la información biológica, como la concerniente a plagas y enfermedades, con los criterios meteorológicos. No sólo tiene importancia la distribución espacial de las zonas ecológicas, sino que también son fundamentales las fluctuaciones en los patrones climatológicos que determinan la variación en sus límites con el paso del tiempo.



Fertilidad del suelo

La violencia de las tormentas de convección que caracterizan las precipitaciones tropicales hace que la tierra de cultivo sea muy propensa a la erosión. Los métodos de conservación del suelo, tales como el terraplenado y la acolladura, han sido conocidos y practicados durante muchas generaciones (Thornton y Rounce, 1936; Peat y Brown, 1960), pero nunca han sido adoptados por completo. Otros métodos, como el terraplenado en curvas de nivel, requieren una planificación cuidadosa, actividades colectivas y la voluntad de mantener los terraplenes y los cauces de agua. No es fácil formular políticas que produzcan incentivos adecuados para el trabajo que hay que realizar y, en general, no se han elaborado. En consecuencia, mucho seguirá dependiendo de las tecnologías de producción que brinden protección al suelo y reduzcan al mínimo el escurrimiento del agua.

A veces se olvida que los cultivos bien desarrollados brindan un excelente manto vegetal, mientras que los cultivos con un desarrollo deficiente o muy espaciados pueden poner en grave peligro la continuidad de la producción. Un cultivo de maíz bien desarrollado tiene mucho valor en este sentido, en particular cuando se incorpora a sistemas de cultivo que incluyen todo un mosaico de cultivos que maduran en momentos diferentes. También son en extremo importantes las áreas de manto perenne, pasto, árboles y arbustos. En las zonas tropicales húmedas y semihúmedas, el sistema de cultivos asociados desarrollado por el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) se basa en principios sólidos y ofrece oportunidades prometedoras para la producción de maíz en estas áreas. Sin embargo, es necesario realizar más investigaciones para encontrar formas de reducir los requerimientos de mano de obra y aumentar los beneficios de cultivar en callejones.

No obstante, la producción de cultivos de maíz bien desarrollados no siempre es sencilla en terrenos tropicales y depende del mantenimiento de las cantidades adecuadas de nutrientes en la zona de la raíz. Con la creciente intensidad de cultivo, resultado de una población en rápido aumento, grandes áreas de terreno han sufrido un deterioro del suelo (Ruthenberg, 1980) y la degradación se ha convertido en un serio problema. Restaurar y mantener las cantidades adecuadas de nutrientes vegetales en gran parte de estos terrenos africanos muy desgastados se ha convertido en un problema difícil. La tarea que se presenta a la ciencia y la tecnología es encontrar las formas de reponer los nutrientes y superar la toxicidad con métodos que sean económicamente viables y factibles en la práctica (véase el examen de LeMare, 1984). En la actualidad existe una gran cantidad de datos empíricos acerca de la respuesta del maíz a los fertilizantes en suelos africanos, pero es preciso llegar a un mayor conocimiento de los mecanismos de la disponibilidad de los nutrientes para encontrar las formas más económicas de restaurar y sostener la productividad en diferentes tipos de suelo. Por ejemplo, un conocimiento más profundo del papel que desempeña la micoriza en la absorción de fosfato por las raíces podría resultar en un uso más extenso del fosfato natural presente en muchos países africanos que, en comparación con el superfosfato, tiene claras ventajas económicas, siempre que se pueda asegurar su absorción por las raíces.

Mejoramiento de genotipos

Los ambientes tropicales de temporal también requieren de variedades con características especiales. Las variedades tradicionales son altas y están expuestas continuamente a los riesgos del acame por las mismas tormentas de convección que crean el riego de la erosión del suelo. Para 1983, el trabajo iniciado en el CIMMYT por Elmer Johnson para generar ideotipos de plantas con tallos cortos y resistentes, después de 17 ciclos de selección recurrente, produjo

un material que mostraba una reducción en altura de cerca de 50%, una proporción grano/paja mejorada y un rendimiento potencial de cerca de 2 t/ha cuando se cultiva con una alta densidad de siembra (CIMMYT, 1984). Combinado con la resistencia al virus del rayado, que se desarrolló en el IITA, estas poblaciones y los materiales derivados de ellas son muy prometedoras para la futura producción de maíz en muchos países africanos.


Sin embargo, si vemos más adelante, debemos considerar las mejoras que quizá resulten de los avances en las ciencias biológicas, en particular en la biotecnología. Estos avances acelerarán el proceso de producir nuevas variedades y brindarán nuevas oportunidades para crear variabilidad genética, pero no cambiarán de manera fundamental lo que se requiere para lograr el éxito. Antes de presentar ejemplos de los tipos de contribución provenientes de la ciencia que probablemente afecten la rapidez y futuro alcance del mejoramiento genotípico, debemos considerar en forma breve los elementos de un buen programa de mejoramiento.

Un programa fitogenético puede compararse con una fábrica. Se comienza con una investigación de mercado para definir el producto, se buscan las materias primas adecuadas y se crean los procesos para convertirlas en productos que atraigan al consumidor. En el caso de la fitogenética, la principal materia prima es la variación genética y los procesos de producción son los sistemas de evaluación y selección que progresivamente adaptan el material genético a las complejas necesidades de los ambientes físicos, biológicos y socioeconómicos. En los países del Tercer Mundo, el consumidor es, por lo general, el pequeño agricultor con un acceso muy limitado a la compra de insumos y la investigación de mercado debe incluir un conocimiento de los sistemas de cultivo en cuestión. Hay que tener en cuenta esta configuración de

todo el proceso fitogenético al considerar el futuro papel de la ciencia y la tecnología en el mejoramiento de genotipos.

Aunque el término "biotecnología" dé la idea de que estamos al borde de una revolución agrícola, los intentos actuales de diseñar plantas se asemejan a los de un ingeniero electrónico que trata de modificar una computadora para la cual no existe un diagrama de circuitos.

Los términos "biotecnología" e "ingeniería genética" han sido utilizados con significados muy diferentes. Para algunos, evocan la noción de que nos encontramos al borde de una revolución agrícola, de que seremos capaces de crear nuevas plantas de cultivo o, cuando menos, de cambiar las plantas existentes de la misma manera que los ingenieros electrónicos continuamente mejoran y actualizan el equipo de una computadora. Hoy, sin embargo, nuestros intentos de diseñar plantas se asemejan a los de un ingeniero electrónico que trata de modificar una computadora para la cual no existe un diagrama de circuito. Puede conocer cómo funcionan algunas partes, pero no tendrá forma de comprender cómo se encuentran integradas funcionalmente. Existen demasiadas lagunas en nuestro conocimiento de la bioquímica y la fisiología para que sea posible pensar en términos de cambios planeados y dirigidos más allá de las características más simples de la planta, al menos en lo concerniente a un futuro cercano. Estamos lejos de poder construir un diagrama de circuito para las plantas y la tarea que encaran los centros internacionales es determinar cuánto se puede invertir en áreas como la biología molecular sin destruir el equilibrio crítico en el enfoque multidisciplinario que resulta tan importante para lograr el éxito.



Sin embargo, en un sentido amplio, la ingeniería genética puede aplicarse a todos los mecanismos de recombinación y selección. El maíz y el trigo tienen la ventaja sobre otras plantas de cultivo de que han sido sometidas desde el comienzo a un estudio genético intenso. Además, el trigo, por ser hexaploide, puede tolerar un grado de manipulación de cromosomas que no se puede aplicar a los diploides. El laborioso desarrollo de diversas series de aneuploides, iniciado a partir del trabajo precursor de E.R. Sears, así como el empleo de nuevas técnicas en la biofísica, han proporcionado instrumentos poderosos para el análisis genético y el desarrollo de la metodología fitogenética. Serán posibles otros avances cuando las técnicas que en la actualidad desarrolla la biotecnología estén listas para aplicarse.

Entre las contribuciones esperadas de los avances en la biología molecular se encuentran aquellas que facilitarán la investigación de pasos limitantes en el metabolismo, por medio de cambios en los genes, su estructura, número de copias y ubicación en el genoma. A través de estos medios los bioquímicos y fisiólogos obtendrán un entendimiento más preciso de los complejos procesos que determinan el comportamiento de un cultivo; así sabrán qué tipo de cambios genéticos dirigidos son necesarios para el mejoramiento del cultivo. Por ejemplo, el conocimiento acumulado en esta forma puede conducir a un entendimiento de la base molecular de la heterosis y sugerir cambios dirigidos que resulten en un comportamiento mejorado de las líneas endogámicas. Austin *et al.* (1986) examinaron las posibilidades de aplicar la biología molecular al mejoramiento de los cultivos en general y al cultivo de trigo en particular.

Eficacia de la selección

Algunas de las contribuciones más importantes a la fitogenética que la ciencia ha aportado y seguirá aportando en el futuro, se relacionan con técnicas de selección más eficaces. Las consideraciones logísticas implican que el

fitogenetista pasa de una pequeña cantidad a cantidades de semilla cada vez mayores. Los tipos de evaluación que requieren una gran cantidad de semillas deben dejarse para una etapa relativamente tardía del proceso, cuando haya aumentado proporcionalmente el costo total de producción de cada selección incorporada. Por consiguiente, cualquier procedimiento que permita identificar material no conveniente en una época temprana de la secuencia de selección, aumenta la velocidad y eficacia del proceso de selección. Constituye un buen ejemplo la evolución de las técnicas para seleccionar la calidad de panificación del trigo.

La última prueba siempre será hornear un bollo de pan. En un principio, ésta era la única prueba disponible y, ya que requiere cantidades relativamente grandes de harina y su realización en gran escala consume mucho tiempo, debe dejarse para una de las últimas etapas del programa, cuando la mayor parte del material con otras características inferiores ya ha sido eliminada. Más recientemente, el empleo del análisis de la reflectancia de rayos infrarrojos y la construcción de pequeños molinos capaces de producir en 30 segundos muestras de harina con 5g de grano, han hecho posible analizar con rapidez la dureza de molienda, la tasa de extracción y el contenido proteínico de un gran número de muestras. En un programa fitogenético típico, se analizan de este modo unas 15 mil muestras en una sola temporada (Bingham, 1983). Además, la mayor comprensión de las propiedades físicas de las proteínas implicadas ha llevado a efectuar una prueba de sedimentación, que permite predecir con exactitud la calidad para la fabricación del pan y contribuye así, en gran medida, a la selección para obtener una combinación de rendimiento y calidad.

Algunos programas ya han logrado una mayor eficacia en el mejoramiento de la calidad del trigo harinero. Técnicas de la bioquímica y la biofísica han hecho posible la separación e identificación de

las proteínas y sus subunidades que contribuyen a las propiedades viscoelásticas de la masa, esenciales en la fabricación del pan. A pesar de que la cantidad total de proteínas presentes en el endosperma, una característica determinada en gran medida por el medio, influye en parte sobre la calidad, ésta también depende de los tipos de subunidades de glutenina en el total de gluten. En particular, el grado de viscoelasticidad está determinado principalmente por la presencia de subunidades de gluten con elevado peso molecular. Las técnicas electroforéticas permiten ahora identificar las diversas subunidades proteínicas en una muestra de endosperma tomada de tan sólo una tercera parte de un grano. Pueden identificarse aquellas que muestran la presencia de subunidades de gluten con alto peso molecular y, ya que el embrión queda intacto, puede sembrarse el grano para producir la siguiente generación de plantas (Payne, 1986).

Esta prueba también ha resultado útil para la selección en el linaje de una sola semilla y para la identificación de progenitores con propósitos de cruzamiento. Por otra parte, los estudios de los ancestros silvestres diploides del trigo han revelado una gran diversidad de proteínas almacenadas en el endosperma, muchas de las cuales no se conocen en los trigos harineros. Entre ellas están las subunidades de glutenina de alto peso molecular. Estas proteínas se están transfiriendo al trigo y más adelante pueden contribuir a mejorar la calidad de panificación del trigo. Por desgracia, la técnica para identificar las subunidades proteínicas aún no puede utilizarse como un simple procedimiento de selección en poblaciones en segregación, ya que requiere demasiado tiempo y capacitación. Sin embargo, sería posible en el futuro explotar los conocimientos adquiridos en diversas formas. Si a esto se añaden los avances de la tecnología en el laboratorio, se podría lograr que la técnica fuera más rápida y automatizada; con el progreso alcanzado en la genética molecular, podría ser posible aumentar el número


de las copias de los genes que determinan las subunidades proteínicas necesarias para un mejor pan.

La técnica de vigilar la presencia de una subunidad proteínica empleando la electroforesis es sólo un ejemplo de todas las técnicas que la citogenética y la biología molecular están desarrollando, diseñadas para ayudar al fitogenetista a identificar la presencia de un gen conveniente. Se han utilizado mucho los isozimas como marcadores en experimentos genéticos, pero ha sido difícil encontrar algunas que sean en general útiles para los fitogenetistas.

En épocas más recientes, la atención se ha concentrado en la posibilidad de vigilar la presencia del segmento del cromosoma en el que se encuentra el gen deseado, a través de su enlace con los puntos de corte atacados por endonucleasas de restricción específicas (Ainsworth y Gale, 1986). En el cambiante idioma de la biotecnología, las diferencias entre cromosomas en este aspecto se conocen como polimorfismos que restringen la longitud de los fragmentos cuyas iniciales en inglés son: "RFLP".

También se cuenta con otras técnicas para la identificación de los genes o de sus productos. Después de digerir ADN aislado con enzimas de restricción se pueden detectar genes específicos mediante la hibridación (sondeo) con cADN obtenido de una secuencia particular de mRNA. Además, la proteína que es el producto genético terciario puede identificarse utilizando varias técnicas que incluyen anticuerpos.

Cualquier técnica de este tipo general que se pudiera emplear en gran escala, ofrecería oportunidades valiosas para el fitogenetista del futuro. Por ejemplo, en el mejoramiento de la resistencia a plagas y enfermedades, la posibilidad de detectar la presencia de genes de resistencia sin tener que exponer la planta huésped a la plaga o al parásito simplificaría en gran medida los procedimientos de selección y brindaría



nuevas oportunidades de combinar múltiples genes de resistencia en un sólo genotipo. Sin embargo, la obtención de esas técnicas útiles requerirá tiempo y mucho esfuerzo.

Variación genética

Otra área en la que podemos esperar una mayor contribución a medida que avanzan las ciencias biológicas es de las nuevas fuentes de la variación genética, materia prima de la fitogenética. Los cruzamientos amplios, la fusión de protoplastos, la variación somático-clonal y la transformación del ADN, se están convirtiendo en instrumentos para el fitogenetista, pero hasta ahora aún no están disponibles para todas las especies de plantas. En el caso de las gramíneas ha sido difícil en general la aplicación de algunas de estas técnicas y el maíz y el trigo carecen en la actualidad de sistemas de transformación viables. No obstante, con los diferentes métodos que se están buscando con afán, es casi seguro que el éxito no está lejos (Flavell y Mathias, 1984). Una vez que se hayan cruzado éste y otros puentes, se podrá contemplar una amplia gama de nuevas posibilidades para la transferencia o modificación de genes, incluyendo, por ejemplo, la incorporación de genes para lograr la resistencia a herbicidas o nuevas formas de resistencia a los virus (Baulcombe, 1986).

Aunque debemos esperar un tiempo para explotar estos avances de la tecnología del ADN recombinante, investigaciones recientes sobre cruzamientos amplios están dando resultados prometedores. Por ejemplo, el pasto diploide salvaje que tolera la sal, *Agropyron junceum*, ha sido cruzado con éxito con el trigo utilizando la variedad Primavera China, monosómica para el cromosoma 5B. El apareamiento de cromosomas homólogos se observó en híbridos nulisómicos 5B (es decir, aquellos que carecen del gen Ph que controla el apareamiento) y se tienen pruebas de que el carácter tolerante a la sal se ha incorporado con éxito al genoma del trigo (Forster et al., 1986).

El cruzamiento más amplio hasta ahora establecido es el del trigo y el maíz (Laurie y Bennett, en prensa). A pesar de que se han cultivado los cigotos hasta la obtención de varias divisiones celulares, parece muy poco probable que el anfiploide llegara alguna vez a convertirse en una planta desarrollada, aunque no sea más que por la disparidad en la morfología y la fisiología de los mecanismos C3 y C4 de la fotosíntesis. Sin embargo, lograr la unión de los dos genomas permitirá incorporar al genoma del trigo segmentos útiles de ADN. Es particularmente interesante la posibilidad de que el trigo adquiera elementos de transposición del maíz, en el cual se conocen mejor que en cualquier otra especie de cultivo. A partir del descubrimiento de McClintock de su papel en las mutaciones (1951), ahora se empiezan a comprender las bases moleculares de su funcionamiento y esto ofrece nuevas posibilidades de transformar el ADN y localizar genes estructurales (Flavell, 1984; Starlinger, 1985).

Estos pocos ejemplos ilustran los diferentes procedimientos que están haciendo posible generar variaciones genéticas o efectuar cambios genéticos. No obstante, la inducción del cambio genético es sólo parte del problema. Necesitamos conocer más los tipos de cambios que haya que efectuar así como las consecuencias de los mismos para el funcionamiento eficiente de la planta. ¿Hasta qué punto será posible, por ejemplo, explotar la recombinación del trigo y el maíz? Esta y muchas otras preguntas plantean retos enormes para las futuras investigaciones de fitofisiólogos y bioquímicos. Sólo con las respuestas correctas los fitogenetistas podrán definir sus objetivos y planificar sus programas para aprovechar al máximo los beneficios de las nuevas técnicas de la biotecnología. Incluso entonces, adoptarán las nuevas técnicas sólo cuando ofrezcan claras ventajas sobre los métodos establecidos (para una discusión más extensa de este punto, véase Bingham, 1984).

Estabilidad del rendimiento y variación de la producción

Si estamos lejos de comprender los procesos del desarrollo y la fisiología del crecimiento de una planta, lo estamos aún más de conocer los mecanismos mediante los cuales diferentes variedades responden de distinta manera ante medios disímiles. Por esto, sin importar cuán excelentes sean los experimentos de laboratorio, nada sustituirá la evaluación de nuevas variedades potenciales en campos de cultivo que cubran toda un área de producción y por más de una temporada. Un centro internacional como el CIMMYT está en una posición única para orquestar la amplia evaluación del geroplasma en sistemas regionales y nacionales. Los recientes adelantos en el análisis de grandes conjuntos de pruebas con variedades, tales como el de la información sobre el maíz y el trigo obtenida por el CIMMYT (Byth *et al.*, 1976; Westcott, en prensa), prometen superar algunas de las limitaciones de los métodos anteriores, basados en gran parte en regresión lineal.

No obstante, es difícil que el fitogenetista tenga en cuenta los resultados de dichos análisis al tomar las decisiones cotidianas. Esta es un área compleja en la que sólo el esfuerzo multidisciplinario continuo puede llegar a producir una metodología perfeccionada. Es necesario integrar más estrechamente los enfoques biométricos, agrometeorológicos y fisiológicos, aunados al conocimiento de la distribución de plagas, enfermedades y otros factores limitantes. El objetivo sería contar con mejores metodologías para definir primero los límites ecológicos y, después, para el mejoramiento genético con el fin de lograr una mayor estabilidad del rendimiento dentro de esos límites, de modo de no contribuir innecesariamente a un aumento de la variabilidad de la producción en términos absolutos, que es inevitable cuando crece el rendimiento (véase Hazell y Anderson, en prensa). Particularmente en los ambientes de temporal, existe la necesidad de lograr un equilibrio


apropiado entre una amplia adaptabilidad y la adaptación específica. Este es otro reto para la ciencia, para el cual no existen soluciones rápidas y sencillas.

Cada vez es más posible generar variaciones genéticas o efectuar cambios genéticos.

Aprovechar la ciencia para la producción

Todos los ejemplos anteriores de los nuevos retos para la ciencia y la tecnología hacen hincapié en la complejidad de los problemas, la necesidad de un enfoque multidisciplinario y la importancia de un esfuerzo constante. Las contribuciones de individuos notables que trabajan en un relativo aislamiento ya no son suficientes. Actualmente estamos en el momento de los enfoques de grupo, pero éstos deben verse fortalecidos no sólo mediante la colaboración de individuos interesados sino con el respaldo sólido de instituciones. Aunque son individuos quienes realizan el trabajo, las instituciones deben brindar la continuidad necesaria para el éxito. Sólo mencionaré algunos de los numerosos tipos de colaboración que se están poniendo en práctica.

Los acuerdos de colaboración que se han establecido entre centros internacionales y sistemas nacionales de investigación son fundamentales para el éxito. Estos acuerdos deben ser sensibles a las circunstancias cambiantes y es preciso fortalecerlos cuando sea necesario. No obstante, de igual importancia es el patrón de colaboración entre centros internacionales e instituciones de alto nivel de todo el mundo, que evoluciona constantemente. Los proyectos de colaboración entre el CIMMYT y el Instituto de Fitogenética (Plant Breeding Institute) fundado por ODA, son buenos ejemplos. En la



actualidad, incluyen investigaciones sobre el trigo, relacionadas con genes del enanismo, transferencia de genes extraespecíficos y cruzamientos amplios. Dichos proyectos no sólo aprovechan la capacidad científica de una institución de alto nivel para resolver problemas de la producción de cultivos en los países en desarrollo, sino que también sirven para favorecer la amplia participación de los científicos nacionales en problemas de importancia internacional.


Este objetivo ambicioso de involucrar a más científicos en problemas de los países en desarrollo, ha llamado la atención del Consejo Internacional de Uniones Científicas (CIUC), que propició que en 1978 se estableciera una Comisión para la Aplicación de la Ciencia en la Agricultura, Silvicultura y Acuicultura (CACASA) (Commission for the Application of Science to Agriculture, Forestry and Aquaculture—CASAF). En colaboración con los centros internacionales, universidades, benefactores y otras organizaciones, la CACASA busca identificar los problemas de importancia general en cuya solución la ciencia podría contribuir mucho. Es apropiada en el presente contexto la promoción que realiza la CACASA de la necesidad de un conocimiento más profundo de la tolerancia a la sequía y de la bioquímica de las angiospermas parasitarias. Este último conocimiento puede ser crucial para encontrar medidas para combatir el gusano Striga, que se está convirtiendo rápidamente en un serio problema para la producción del maíz y otros cultivos en África.

Esta y otras formas la ciencia y la tecnología contribuirán a las futuras revoluciones verdes, que serán esenciales tanto para el bienestar del hombre como para la conservación del medio natural del que todo depende. Al cumplir 20 años de trabajo, el CIMMYT cuenta con la buena voluntad de todos aquellos que tenemos estos intereses en mente.

Referencias

- Ainsworth, C.C. y M.D. Gale. 1986. Enzyme structural genes and their exploitation in wheat genetics and breeding. *In: Enzymes and their Role in Cereal Technology*, J.E. Kruger, C.E. Stanfer y D.R. Lineback, eds. Asociación Estadounidense de Químicos de Cereales (En prensa).
- Altieri, M.A. y M.K. Anderson. 1986. An ecological basis for the development of alternative agricultural systems for small farmers in the Third World. *American Journal of Alternative Agriculture* 1:30-38.
- Anderson, J.R. 1986. International Agricultural Research Centers: Achievements and Potential. Grupo Consultivo sobre la Investigación Agrícola Internacional, Washington, D.C., EUA.
- Austin, R.B. Some crop characteristics of wheat and their influence on yield and water use. *In: Improving Winter Cereals for Moisture-Limiting Environments: An International Seminar*. Capri, Italia, 27 al 31 de octubre de 1985. (En prensa).
- Austin R.B., R.B. Flavel y H.J.B. Low. 1986. Molecular Biology and Crop Improvement: A Case Study of Wheat, Oil Seed Rape and Faba Beans. Cambridge University Press. 114 pp.
- Baulcombe, D.C. 1986. The use of recombinant DNA techniques in the production of virus resistant plants. *In: Biotechnology and Crop Improvement and Protection*, P.R. Day, ed. Monografía No. 34, Consejo Británico para la Protección de Cultivos, Thornton Heath, Reino Unido.

- Bingham, J. 1983. Genetic constraints on progress in wheat breeding. *In*: The Yield of Cereals, D. W. Wright, ed. Memorias de un seminario internacional celebrado en Cambridge y Stoneleigh, 5 de junio de 1983. Monografía de la Sociedad Real de Inglaterra. pp. 5-11.
- Bingham, J. 1984. Achievements, prospects, and limitations of conventional plant breeding. *In*: Genetic Manipulation of Plants and Its Application to Agriculture, P.J. Lea y G.R. Stewart, eds. Oxford University Press, Oxford, Reino Unido. pp. 1-17.
- Byth, D.E., R.L. Eisemann y I.H. de Lacey. 1980. Two-way pattern analysis of a large data set to evaluate genotypic adaptation. *Heredity* 37:215-230.
- CIMMYT. 1984. Maize research. *In*: CIMMYT Research Highlights 1983. CIMMYT, México, D.F. pp. 35-57.
- Dowker, B.D. 1971. Breeding maize for low rainfall areas of Kenya. I. The reliability of yield of early and late maturing maizes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 76:523-530.
- Eicher, C.K. 1986. Transforming African Agriculture. The Hunger Project, San Francisco, EUA.
- Farmer, G. y T.M.L. Wigley. 1985. Climatic trends for tropical Africa: A research report for the Overseas Development Administration. Universidad de East Anglia, Norwich, Reino Unido.
- Flavell, R.B. 1984. Transposable elements. *Oxford Surveys of Plant Molecular and Cell Biology* 1:207-210.
- Flavell, R.B. y Mathias. 1984. Prospects for transforming monocot plants. *Nature* 307:108-109.
- Forster, B.P., J. Gorham y T.E. Miller. Salt tolerance of an amphiploid between *Triticum aestivum* and *Agropyron junceum*. (En prensa.)
- Harrison, M.N. 1970. Maize improvement in East Africa. *In*: Crop Improvement in East Africa. C.L.A. Leakey, ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Reino Unido. pp. 21-59.
- Hazell, P. y J.R. Anderson. Memorias del Taller de IFPRI/DSE sobre las Fuentes de mayor variabilidad en los rendimientos cerealeros. (En prensa.)
- Hutchinson, J.B., H.L. Manning y H.G. Farbrother. 1958. Crop water requirement of cotton. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 51:177-188.
- Krantz, B.A. y J. Kampen. 1977. Crop production system in semi-arid zones. *In*: Soil and Water Management for Crop Production: An Introduction to Regional Farming Systems, W. Thorne and M. Thorne, eds. AVI Publishing Co., West Port, Connecticut, EUA.
- Laurie, D.A. and M.D. Bennett, 1986. Wheat x maize hybridization. *Canadian Journal of Genetics and Cytology* 28:313-316.
- Law, C.N. 1986. The need for a multidisciplinary approach to genetic manipulation in plant breeding. *In*: Genetic Manipulation in Plant Breeding, C.J. Jensen, W. Odenbach, and O. Schneider, eds. Proceedings of the International Symposium Organized by Eucarpia, West Berlin, 8-13 September 1985. Walter de Gruyner, Berlín, Alemania Occidental. Pp. 867-882.
- LeMare, P.H. 1984. Limitations imposed by nutrient supply in tropical Africa soils. *In*: Advancing Agricultural Production in Africa, D.L. Hawkesworth, ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal. Pp. 357-361.

- 
- Manning, H.L. 1950. Confidence limits of expected monthly rainfall. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 40:169-176.
- McClintock, B. 1951. Chromosome organization and genic expression. *Cold Spring Harbor Symposium on Quantitative Biology* 16:13-47.
- Nachit, M.M. 1985. Use of planting dates to select stress tolerant and yield stable triticale genotypes for the rainfed Mediterranean environment. *Rachis* 3(1):37.
- Payne, P.I. 1986. Varietal improvement in bread-making quality of wheat: contributions from biochemistry and genetics, and future prospects from molecular biology. *In: Biotechnology and Crop Improvement and Protection*. P.R. Day, ed. BCPC Monograph No. 34. British Crop Protection Council, Thornton Heath, Reino Unido.
- Peat, J.E. y K.J. Brown. 1960. Effects of management on increasing crop yields in the Lake Province of Tanganyika. *East African Agricultural Journal* 26:103-106.
- Rijks, D. 1984. The zonal climates of Africa and biological resources (and the collection and analysis of primary data in the AGRHYMET Programme). *In: Advancing Agricultural Production in Africa*, D.L. Hawksworth, ed. Commonwealth Agricultural Bureaux, Farnham Royal, Reino Unido. Pp. 299-307.
- Ruthenberg, H. 1980. *Farming systems in the tropics*. Tercera edición. Clarendon Press, Oxford, Inglaterra.
- Snape, J.W., R.B. Flavell, M. O'Dell, W.G. Hughes y P.I. Payne. 1985. Intrachromosomal mapping of the nuclear organiser region relative to three marker loci on chromosome 1B of wheat (*Triticum aestivum*). *Theoretical and Applied Genetics* 69:263-270.
- Starlinger, P. 1985. Transposable elements in plants. *Biol Chem Hoppe-Seyler* 366:931-937.
- Thornton, D. y N. V. Rounce. 1936. Ukara Island and the agricultural practices of the Wakara. *Tanganyika Notes and Records* 1:25-32.
- Trapani, N. y E. Gentinetta. 1984. Screening of maize genotypes using drought tolerance test. *Maydica* 24:89-100.
- Westcott, B.A. method of assessing the yield stability of crop genotypes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. (En prensa).

Comentarios

D. Acker

**Agencia de Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, Washington, D.C.,
EUA**

Felicito al CIMMYT en nombre del Subdirector de la Agencia de Estados Unidos de América para el Desarrollo Internacional, Nyle Brady, y lamento profunda y sinceramente que él no haya podido estar con ustedes en esta ocasión.

El hecho de que un fitogenetista especializado en el algodón hable sobre el mejoramiento del maíz y trigo y de que un zootécnico comente sobre ese tema, es tal vez un ejemplo de cruzamientos amplios.

El Dr. Arnold ha proporcionado mucho material para la reflexión. Mi contribución consistirá en subrayar algunos de los puntos expuestos y hacer preguntas para centrar la atención en ciertos aspectos.

El documento del Dr. Arnold me sugiere la posibilidad de establecer un sistema de zonas agroecológicas, cada una con sus características de suelo y clima, que los investigadores encontrarán muy valiosas al diseñar sus programas y evaluar su labor. El progreso dependerá de los datos que reunamos acerca del clima, las enfermedades y plagas y la respuesta de los genotipos, así como de un completo aprovechamiento de la información anterior y futura. Esto es posible gracias a la tecnología actual de manejo de datos.

Es importante subrayar que la agricultura productiva es uno de los mejores protectores del medio. Un excelente cultivo de maíz resguarda el suelo, reduce la erosión causada por el viento o el agua, aporta materia orgánica y, ya que puede reducir la superficie total que se necesita para el maíz, puede dar como resultado que exista tierra marginal cubierta de pasto.

El CIMMYT ha desempeñado un papel fundamental en convertir en realidades productivas el triticale y el maíz rico en lisina y el Centro cumplirá una función

importante en el desarrollo de futuros avances, gracias a su posición científica y la naturaleza duradera de sus móviles y respaldo.

El documento advierte que hay que ser cautelosos en el empleo de la ingeniería genética, pero es optimista al respecto y nos recuerda que lo que buscamos y lo que podemos brindar es variabilidad genética adicional. Opino que no debemos formular políticas precipitadas acerca de dónde utilizar la ingeniería genética, el cultivo de tejidos u otros componentes de la biotecnología (término tal vez demasiado amplio). No hace muchos años, los directivos de universidades y centros de investigación establecieron que no se podía comprar equipo de cómputo excepto el necesario para las instalaciones centrales. Las unidades que se usaron durante mucho tiempo no aprovecharon las ventajas de la creación de minicomputadoras, y computadoras personales con enlaces. Lo mismo podría suceder con el equipo y las técnicas de la ingeniería genética.

Las políticas son convenientes, pero es necesario formularlas con una amplia perspectiva de los avances, necesidades y capacidades de las unidades componentes y la evolución de los sistemas nacionales de investigación.

Los ejemplos del Dr. Arnold demuestran que nuestros instrumentos de desarrollo son cada vez más poderosos y variados y, así, existe potencial para adaptar los genotipos a zonas macro o microagroecológicas. ¿Será suficiente la precisión de nuestros planes? ¿Tendrán suficiente poder los sistemas agrícolas nacionales? ¿Será suficiente la inversión pública o privada?

Mis felicitaciones al Dr. Arnold por un documento que induce a reflexionar, y mi agradecimiento por el privilegio de participar en esta discusión.

El papel del desarrollo de germoplasma en el aumento de la productividad del maíz

D. Duvick

Pioneer Hi-Bred International, Johnstown, Iowa, EUA

Presentado por W. Kuhn

Pioneer Hi-Bred International, Johnstown, Iowa, EUA

Me gustaría agradecer al Centro por permitirme estar presente en esta afortunada ocasión. Sería muy agradable celebrar los 20 años del CIMMYT haciendo hincapié en las muchas contribuciones de la organización al desarrollo de la agricultura en los países del Tercer Mundo. Sin embargo, es más adecuado que destaquemos el acontecimiento mirando al futuro, al papel más amplio de los programas de capacitación del Centro. A mi juicio, esta actividad es un complemento esencial de las investigaciones del CIMMYT y por cierto multiplicará los beneficios de sus esfuerzos para mejorar el germoplasma.

poco a la historia reciente para ejemplificar la interdependencia de estos factores diversos.

Interacciones culturales y sociales

La trayectoria del rendimiento del maíz en Estados Unidos muestra un aumento continuo desde 1930, en contraste con los aproximadamente 30 años anteriores, cuando permaneció virtualmente sin cambio (Duvick, 1984a). Numerosos estudios han demostrado que el componente único más importante de estos incrementos ha sido el mejoramiento genético de las semillas que siembran los agricultores. Otros estudios han demostrado que el porcentaje de aumento atribuible al mejoramiento genético ha sido bastante constante. Los incrementos de rendimiento en fincas, en cambio, no han sido tan regulares, en gran parte a causa de las variaciones climatológicas de un año a otro.

A mediados del decenio de 1950, el rendimiento del maíz en Estados Unidos inició un marcado ascenso que coincidió con el uso creciente de fertilizantes nitrogenados sintéticos. Las dos curvas, la de rendimiento y la de consumo de nitrógeno, son de hecho idénticas en los 15 años siguientes. No obstante, antes de que demos por sentado que existe una relación de uno a uno entre el rendimiento del maíz y el uso del nitrógeno, consideremos estos puntos adicionales: las poblaciones de plantas casi se duplicaron durante ese mismo período, los herbicidas químicos comenzaron a sustituir la lucha mecánica contra la maleza, la maquinaria y el equipo se volvieron más precisos y refinados y los agricultores comenzaron a plantar sus cultivos de maíz más temprano para aprovechar totalmente la

La función del desarrollo de germoplasma en el incremento de la productividad del maíz puede aumentar o disminuir grandemente de acuerdo con aspectos sociales, políticos, culturales y ambientales.

Si me lo permiten, me gustaría proseguir con esa idea un poco más, ya que ningún elemento de todo este esfuerzo puede ser eficaz por sí solo. El papel del desarrollo del germoplasma en el incremento de la productividad del maíz puede aumentar o disminuir grandemente de acuerdo con aspectos sociales, políticos, culturales y ambientales. El Dr. Schuh ya ha mencionado la potencial repercusión de las políticas nacionales e internacionales en el desarrollo de la agricultura en el Tercer Mundo. No quisiera anticiparme a ninguno de los distinguidos ponentes que van a seguirme; sin embargo, como base para mi tema, me gustaría referirme un

temporada de cultivo. Además, se produjo un hecho muy importante: una sucesión continua de híbridos nuevos permitió a los agricultores aprovechar el potencial de estas mejoras en el manejo de cultivos. Cada generación nueva de híbridos tuvo mayor estabilidad y más capacidad de rendimiento que la anterior.

Durante el mismo período, otros elementos probablemente influyeron también en la pendiente de la curva. Sin duda hubo incentivos económicos para el agricultor y sus proveedores para producir más grano, tanto por unidad de superficie de terreno como en su totalidad. También existía la idea de que Estados Unidos tenía cierta responsabilidad moral de alimentar al resto del mundo. Estos factores son más difíciles de cuantificar, pero se deben tomar en cuenta en cualquier plan integral para realizar cambios positivos en el desarrollo agrícola de los países del Tercer Mundo.

No intentaré mencionar las actitudes y circunstancias que pueden afectar y afectarán el grado al cual el germoplasma mejorado llegue a incrementar la productividad del maíz fuera de Estados Unidos; otros ponentes tienen más conocimientos que yo en esta materia. Sin embargo, les pido que recuerden, a lo largo de esta conferencia y cuando regresen a su propia área de especialización, que, si es que deseamos tener éxito, debemos aplicar un criterio de sistemas por completo integrados a las oportunidades de un mayor desarrollo agrícola en el Tercer Mundo.

Expectativas acerca de la contribución del germoplasma mejorado para obtener mayores rendimientos


Por el momento, demos por sentado que podemos aislar el germoplasma de otros componentes de la productividad mejorada y examinémoslo por separado. ¿Cuál es la expectativa razonable en cuanto a la contribución que podría aportar este único elemento? Un estudio reciente sobre el maíz efectuado en Minnesota (Cardwell, 1982) demostró que el cambio de las variedades de

polinización libre a los híbridos modernos representó un 16% del incremento de los rendimientos obtenidos desde 1930. Otras mejoras genéticas generales añadieron otro 43%. Esto es algo inferior al incremento del rendimiento atribuible a las mejoras genéticas que se comprobaron en estudios independientes de Duvick (1977, 1984 b) y Russell (1974). Como me siento más cómodo con la metodología utilizada en mis estudios, me gustaría citar los resultados que obtuve como ejemplo del potencial del cual disponemos.

En pruebas realizadas desde 1978 a 1980 en Iowa con una serie de 47 híbridos comerciales, lanzados entre 1934 y 1978, y con una variedad de polinización libre de la cosecha de 1930, el aumento en el rendimiento causado por mejoras genéticas alcanzó un promedio de 92 kg/ha por año. Esto equivale al 89% del incremento total del rendimiento en Iowa en el mismo período. Un segundo experimento, que utilizó grupos de dialelos provenientes de un cruzamiento único, reveló un aumento del rendimiento atribuible a las mejoras genéticas de 73 kg/ha por año, o del 71% del incremento total del rendimiento.

Los componentes del germoplasma mejorado

Tanto el diseño de mi experimento como el de otras investigaciones (Austin *et al.*, 1980; Castleberry *et al.*, 1984; y Russell, 1984) ha demostrado que la mayor capacidad de rendimiento de los híbridos y variedades más recientes, en relación con la de variedades más antiguas, se revela no sólo cuando otros factores son óptimos sino también cuando la fertilidad, las plagas y las condiciones ambientales son desfavorables. Es verdad que la ventaja de los híbridos modernos en cuanto a rendimiento es superior cuando los potenciales son mayores, y que la diferencia entre los genotipos de rendimiento más alto y más bajo disminuye cuando la fertilidad y otros factores limitan más el potencial de rendimiento. No obstante, eso no debe sorprendernos si tenemos en cuenta que



ningún genotipo conocido puede producir grano sin insumos. La cuestión es que los rendimientos superiores de los híbridos y variedades nuevos son el resultado de su mayor resistencia a factores ambientales negativos, enfermedades y plagas de insectos, más que de simples "genes de rendimiento" que se expresan sólo en condiciones de cultivo ideales.

Dado que en todos los tipos de ambientes la mayoría de las variedades e híbridos son más fuertes y estables que las variedades más antiguas, será útil examinar las características específicas que proporcionan este potencial de rendimiento más alto. Los híbridos del maíz, en particular, han concentrado la atención de varios investigadores en este aspecto (Castleberry *et al.*, 1984; Duvick, 1984; Meghji *et al.*, 1984; Russell, 1984).

Los resultados de la investigación han demostrado sistemáticamente que los híbridos nuevos han mejorado mucho en cuanto a la fuerza de la raíz, la resistencia del tallo a la pudrición causada por hongos, la resistencia al calor y la sequía, la capacidad de tolerar cantidades inadecuadas de nitrógeno, la resistencia al barrenador europeo del maíz y la capacidad de soportar las consecuencias nocivas de las tasas elevadas de densidad de plantación. Es la suma de estas mejoras genéticas lo que permite a los híbridos nuevos superar el rendimiento de los viejos, sean buenas o malas las condiciones.

Estrategias para el mejoramiento del germoplasma

Así pues, la contribución genética a las mejoras de la productividad del maíz en Estados Unidos está bien establecida. Sin embargo, quizá sea de mayor interés para esta reunión la manera en que se produjo. A partir de esto, tal vez podamos idear una estrategia viable para mejorar la productividad del maíz también en los países en desarrollo.

En primer término, y muy importante a mi juicio, existe el hecho de que mucho del germoplasma disponible estaba muy

bien caracterizado, en especial como líneas endogámicas de desempeño conocido en los híbridos. Las instituciones públicas y las empresas privadas canalizaron muchos de sus esfuerzos a examinar material genético para la obtención de rasgos útiles o potencialmente útiles. El resultado fue una fuente de germoplasma selecto que era en verdad selecto. Estos catálogos de información genética hicieron la mejora del germoplasma más sencilla y más eficaz de lo que hubiera sido posible de otro modo.

Reconozco que hacer selecciones a partir de diferentes poblaciones y sintetizar, mejorar, y después lanzar variedades intermedias en un principio fue, tal vez, el único modo de servir a los muchos programas nacionales en el Tercer Mundo. No obstante, con la creciente complejidad de algunos programas nacionales y el nuevo esfuerzo de desarrollo de líneas endogámicas del CIMMYT, un programa que caracterizara por completo las selecciones genéticas más prometedoras obtenidas en el Centro, en especial una combinación híbrida, brindaría una oportunidad maravillosa para ampliar la influencia del centro en el mejoramiento del germoplasma.

Si se me permitiera citar un solo ejemplo del programa internacional de investigaciones de mi propia empresa, señalaría que nuestros éxitos más rotundos en la mejora del germoplasma del maíz surgen del uso de material muy bien caracterizado, ya sea germoplasma de Estados Unidos (a menudo integrado en material tropical o subtropical) o, como en el caso de nuestro programa de investigaciones en Asia, de selecciones en materiales adaptados al lugar.

Estos resultados, creo, indican que un esfuerzo cooperativo en este sentido por parte del CIMMYT y los investigadores de programas nacionales podrían aumentar de manera exponencial el porcentaje de mejoramiento del germoplasma. Sin embargo, como señaló el Dr. Cantrell en una discusión previa sobre este tema, utilizar las

técnicas más apropiadas puede ser casi tan importante como contar con el mejor germoplasma. Por consiguiente, un programa de este tipo también requeriría un compromiso significativo con el desarrollo de mejores técnicas de investigación dentro de muchos programas nacionales relacionados con el maíz.

No obstante, considero que tal esfuerzo conjunto bien podría proporcionar la mayor retribución posible a los recursos del centro.

La diversidad genética: una clave

Otro elemento que ha contribuido al éxito del mejoramiento del germoplasma en América del Norte y, una vez más, el que sería estratégicamente adecuado para los países en desarrollo, es hacer hincapié en la diversidad genética. En la actualidad, los agricultores de Estados Unidos plantan cientos de híbridos de maíz con diferentes nombres. Aun teniendo en cuenta aquellos casos en los que el mismo híbrido pueda tener varios nombres o números diferentes, la diversidad del germoplasma del maíz es sorprendentemente amplia, más de lo que por lo general se supone (Duvick, 1984c). (Sin embargo, se debe recordar que los agricultores de Estados Unidos tienden a concentrar la siembra de maíz en un número relativamente pequeño de híbridos superiores. En consecuencia, la diversidad disponible no se distribuye de manera uniforme en todo el país).

Además, hay decenas de miles de variedades experimentales en diversas etapas de prueba, obtenidas mediante combinaciones de genes primarios y secundarios sobre una base amplia. En definitiva, por supuesto, todas se remontan a un porcentaje un tanto pequeño de la cantidad total de razas locales y variedades silvestres del maíz disponibles. Sin embargo, a lo largo de los años se ha realizado un considerable cruzamiento abierto e introgresión para introducir y adaptar ciertos materiales exóticos a las condiciones de cultivo en Estados Unidos. Este esfuerzo de mejoramiento ha dado por resultado la


introducción de proporciones significativas de diversidad genética en el maíz de ese país. En muchos casos, el germoplasma obtenido mediante introgresión contenía genes adicionales útiles cuya acción era desconocida o inesperada hasta que aparecía una nueva enfermedad, insecto o problema ambiental.

Estamos en la posición algo irónica de ser capaces de pasar genes de una especie a otra, pero sin los conocimientos necesarios para determinar cuáles genes confieren qué características o contribuyen a ellas.

Por ejemplo, cuando apareció un nuevo complejo vírico en la región meridional media de Estados Unidos hace unos 20 años, se encontró que ciertas líneas endogámicas de maíz, con un pequeño porcentaje de ascendencia proveniente del Caribe, tenían una excelente resistencia a la enfermedad (Duvick, 1984c). El germoplasma del Caribe se introdujo al principio para aumentar la cobertura de la mazorca y la resistencia al calor de las líneas endogámicas del oeste medio y adaptarlas mejor a las condiciones de cultivo del sur. No obstante, los genes "ocultos" demostraron ser más útiles que aquellos que ofrecían las características que se buscaban en un principio.

Por supuesto, la cuestión es que ampliar la diversidad del germoplasma utilizado en los programas nacionales ofrecerá algunos beneficios obvios, pero también puede ser de una utilidad que no podemos anticipar.

Por otra parte, la experiencia en Estados Unidos destaca la necesidad absoluta de investigaciones fitogenéticas intensas y continuas, en especial en los programas nacionales, para proporcionar fuentes amplias de nuevos híbridos y/o variedades genéticamente diversos a intervalos regulares. Con esto se dispondrá de la "diversidad genética a



tiempo", base esencial aunque por lo general no reconocida de la estabilidad del desempeño al afrontar enfermedades y plagas de insectos que se modifican constantemente.

Las consecuencias del aislamiento genético en el caso del café son ya evidentes: no podemos permitir que eso suceda con los principales cultivos alimentarios del mundo.

Especialización complementaria

La última estrategia para aumentar la producción del maíz mediante el mejoramiento del germoplasma es algo más filosófica que instructiva; pero ésta es un área en la que hemos logrado sólo un progreso moderado en Estados Unidos. Tal vez ustedes puedan aprender de nuestros errores. Hablo de la determinación (y la disciplina) de especializarse en lo que uno hace mejor que nadie y, al mismo tiempo, ayudar a estructurar un sistema en el que el trabajo de un grupo complementa y apoya el trabajo de otros. Normalmente, éste es un proceso evolutivo en el que los conocimientos especializados de una organización, sus recursos y su gente, ayudan a definir su papel. Desgraciadamente puede que exista cierta renuencia a concentrar la suma de los propios recursos en aquellas actividades que contribuirían al mayor beneficio, pero que no serían necesariamente las de mayor interés.

En Estados Unidos, por ejemplo, apenas comenzamos a tomar conciencia de las grandes lagunas que existen en nuestros conocimientos de biología básica y fitofisiología. Este "despertar" es el resultado de los rápidos avances que se realizan en la biotecnología. Nos encontramos en la posición algo irónica de ser capaces de pasar genes de una especie a otra, pero sin los conocimientos necesarios para determinar cuáles genes controlan qué características o contribuyen a ellas.

No tiene sentido tratar de culpar a alguien por esta situación. Sin embargo, debemos preguntarnos quién debería haber hecho esa investigación básica: ¿nuestras facultades y universidades, el gobierno o la iniciativa privada? Tal vez cada uno pensó que la realizaba el otro, o tal vez los subsidios sólo estaban disponibles para financiar otras investigaciones orientadas hacia los productos. La cuestión es que no tuvo la importancia que se le debió asignar. El precio de esa negligencia retrasará el avance del mejoramiento del germoplasma.

El problema que enfrentamos hoy podría haber sido evitado con una mejor comunicación y cooperación entre las organizaciones cuya responsabilidad final es proporcionar híbridos y variedades mejorados a los agricultores. No hubiera sido sencillo lograrlo por los aspectos sociales y políticos a los que aludí con anterioridad. No obstante, si hubiéramos sabido entonces lo que sabemos ahora, pienso que el candidato más adecuado, es decir, la organización con la mayor experiencia, los recursos disponibles y la gente que llevara a cabo la labor, hubiera asumido esa función.

El papel del CIMMYT

Esas son, entonces, las estrategias posibles que veo para que sea óptima la contribución del germoplasma mejorado al aumento de la productividad del maíz en los países en desarrollo del mundo. Reconozco que, aun cuando ustedes estén por completo de acuerdo con estas sugerencias, ponerlas en práctica implicaría mucho más que la simple elaboración de la estructura y el establecimiento de los programas. Sin embargo, también sé que debemos seguir adelante, y veo un papel excepcional para el CIMMYT como catalizador en ese proceso. Seré breve en mi síntesis de esas oportunidades y quizá mis recomendaciones proporcionen al Dr. Sprague los elementos necesarios para una discusión activa.

Primero, los recursos de germoplasma que mantiene el CIMMYT pueden ser y, pienso, serán más ampliamente utilizados si se les caracteriza en forma adecuada.

Aportarán no sólo rasgos para un mejor desempeño sino también mayor diversidad genética cuando se efectúe la introgresión en materiales adaptados al lugar. En esos programas nacionales que están listos para utilizar el material genético proveniente del nuevo programa de desarrollo de líneas endogámicas del Centro, la trascendencia sería aún mayor.

Segundo, el CIMMYT, puede y, considero, debe continuar sirviendo como un conducto para el flujo libre e irrestricto del germoplasma entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Ya comenzamos a ver las consecuencias del "aislamiento genético" en el caso del café. No podemos permitir que eso suceda con los cultivos que constituyen los principales alimentos del mundo.

Por último, el CIMMYT tiene una oportunidad única y la capacidad de aunar los esfuerzos y fomentar la comunicación entre los diversos programas nacionales relacionados con el maíz en los países en desarrollo, de contribuir a la capacitación de sus investigadores e instruir a sus productores y de ayudar a eliminar o vencer los obstáculos políticos y sociales que invariablemente se pondrán en el camino de quien quiera promover estos programas.

Será un esfuerzo muy grande. Requerirá paciencia, perseverancia, cooperación y unidad en cuanto a las metas que ustedes mismos se impongan. También se requerirá el apoyo del resto de la comunidad agrícola del mundo. Si la asistencia a esta celebración del 20 aniversario es un signo, contarán con ella.

Referencias

- Austin, R.B., J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan y M. Taylor. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 94:675-680.
- Carwell, V.B. 1982. Fifty years of Minnesota corn production: Sources of yield increase. *Agronomy Journal* 74:984-990.
- Castleberry, R.M., C.W. Crum y C.F. Krull. 1984. Genetic yield improvement of US maize cultivars under varying fertility and climatic requirements. *Crop Science* 24:33-36.
- Duvick, D.N. 1984a. Progress in conventional plant breeding. *In: Gene Manipulation In Plant Improvement*, J. P. Gustafson, ed. Plenum Press, Nueva York. Pp. 17-31.
- Duvick, D.N. 1984b. Genetic contributions to yield gains of US hybrid maize, 1930 to 1980. *In: Genetic Contributions To Yield Gains Of Five Major Crop Plants*, W.R. Fehr, ed. CSSA Special Publication Number 7, Crop Science Society of America, Madison, Wisconsin, EUA. Pp. 1547.
- Duvick, D.N. 1984c. Genetic diversity in major farm crops on the farm and in reserve. *Economic Botany* 38:161-178.
- Meghji, M.R., J.W. Dudley, R.J. Lambert y G.F. Sprague, 1984. Inbreeding depression, inbred and hybrid grain yields, and other traits of maize genotypes representing three eras. *Crop Science* 24:545-549.
- Russell, W.A. 1974. Comparative performance of maize hybrids representing different eras of maize breeding. *In: Delores Wilkinson, ed., Proceedings of the 29th Annual Corn and Sorghum Research Conference, America Seed Trade Association, Washington, D.C., EUA. Pp. 81-101.*
- Russell, W.A. 1984. Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of breeding. *Maydica* 29:375-390.



Comentarios

E.W. Sprague
Hull, Georgia, EUA

En su ponencia intitulada "La función del desarrollo de germoplasma en aumentar la productividad del maíz", el Dr. Duvick ha abarcado muchos puntos interesantes que nos dan qué pensar. Trataré de resumir algunos de estos temas como base para nuestra discusión.

Perspectiva

La ponencia comienza poniendo la función del germoplasma en perspectiva entre los distintos factores que afectan el potencial de rendimiento de los cultivos. Esto es de particular relevancia para la diversidad de situaciones que enfrenta el personal del CIMMYT en diferentes regiones del mundo. Estoy seguro de que todos nosotros estaríamos de acuerdo en que estos factores hacen indispensable un enfoque multidisciplinario al analizar y trabajar en el tema más amplio del aumento de productividad. Por supuesto que puede cuestionarse la importancia relativa de dichos factores, importancia que además podría proporcionar temas suficientes para un debate prolongado.

Contribución del germoplasma mejorado

Estoy seguro de que también estaríamos de acuerdo en que la generación de germoplasma es un elemento fundamental para lograr mejores rendimientos y que todos los factores que afectan el rendimiento hacen indispensable un enfoque integrado de grupo en los programas de fitomejoramiento. Sería interesante escuchar más acerca de la influencia relativa de características como la fuerza de las raíces, resistencia a la pudrición del tallo, tolerancia al calor y a la sequía, entre otras, sobre el potencial y la adaptación.

Estrategias para mejorar el germoplasma

En cuanto a las estrategias para mejorar el germoplasma, creo que todos los fitomejoradores reconocen que es esencial la caracterización del germoplasma para lograr cualquier meta. Como parte de su misión, el CIMMYT ha caracterizado y depurado el germoplasma en forma continua. No obstante, se podría argumentar que una caracterización demasiado severa en una etapa muy temprana de un extenso programa de desarrollo podría resultar en la eliminación de germoplasma que en potencia fuera muy útil. Por tanto, quizá sería mejor realizar la caracterización de ciertos componentes (como el de la capacidad específica para combinarse) en las etapas posteriores del desarrollo. Este es un punto que seguramente debe tratarse. Además, como parte de la discusión sobre las estrategias para el mejoramiento de germoplasma, no debemos olvidar que nuestros materiales altamente productivos deben ser de buena calidad y producirse en cantidades comercializables.

Diversidad genética

Creo que todos los presentes estarán de acuerdo en que es importante incrementar y mantener la diversidad genética. Sin embargo, estoy seguro de que la forma de ampliar y mantenerla más eficaz y eficientemente daría pie a mucha discusión. ¿Cuál es la relativa conveniencia de trabajar con un sistema de complejos y poblaciones en comparación con efectuar cruza endogámicas, clasificar y almacenar líneas endogámicas, o llevar a cabo una combinación de estas actividades?

Un nuevo método de generar diversidad genética que se mencionó específicamente en la ponencia es la

transferencia de genes de una especie a otra, posible gracias a los avances recientes de la biotecnología. Respecto a nuestro conocimiento y capacidad para utilizar dichas técnicas, yo quizá no sea tan severo con EUA como el Dr. Duvick. Estoy de acuerdo en que es fundamental comprender las investigaciones complementarias para implantar las diferentes técnicas en forma apropiada y oportuna; además, es verdad que algún día tal vez empleemos los avances biotecnológicos de manera extensa en la creación de germoplasma productivo. La

investigación para lograr esta meta es muy importante. No obstante, yo sugiero que estas técnicas no son -ni serán en el futuro- el eslabón más débil en nuestro sistema de desarrollo de germoplasma.

Al llevar a cabo sus funciones de desarrollar germoplasma y probar materiales a nivel internacional, el CIMMYT sin duda en muchos casos aumenta la diversidad genética y disminuye la vulnerabilidad a las plagas a los niveles nacional, regional y mundial.

Oportunidades de aumentar el potencial de rendimiento del trigo

L.T. Evans

División de Industria Vegetal, CSIRO, Canberra, Australia

Hace dos mil quinientos años Sócrates le dijo a Iscómaco "Primero me gustaría saber ... cómo cultivar la tierra para obtener ... más trigo" (Jenofonte, El Económico). Así pues, al darme el título de esta ponencia, el CIMMYT formula una pregunta antigua, pero importante.

En las épocas en que hay superávit de granos, como ahora, siempre hay muchos que argumentan que un mayor potencial de rendimiento es lo último que necesitamos. Pero, cuando desaparecen los excedentes, como siempre ha sucedido, aumentar el potencial de rendimiento vuelve a ser una meta predilecta.

También están aquellos que quieren regresar a sistemas de bajos insumos, inofensivos para el ambiente, en lugar de buscar mayores rendimientos. No está claro cómo el mundo va a mantener a más de mil millones de personas con estos sistemas y cómo va a proteger las tierras marginales vulnerables.

También existen algunos que arguyen que aumentar los rendimientos bajos e inciertos de ambientes adversos es más importante que incrementar aún más los potenciales de rendimiento. Pero incluso en los países desarrollados que cuentan con poderosos organismos para la investigación, sólo hemos conseguido un progreso lento en dichos medios y, mientras la población mundial siga creciendo, tendremos que aumentar el rendimiento dondequiera que podamos.

Sin embargo, otros dicen que los cultivos con altos insumos no son competitivos. Este no es el caso del trigo que se cultiva actualmente en Europa; tampoco será necesariamente así cuando las distorsiones de la Política Agrícola Común hayan desaparecido, como han señalado Bingham *et al.* (1985). Así, a pesar de ésta y otras objeciones, el

CIMMYT acertadamente ha tomado la decisión de hacer hincapié en el mayor potencial de rendimiento en este aniversario.

Rendimiento y potencial de rendimiento

El rendimiento del trigo está determinado por muchos factores ambientales, genéticos y socioeconómicos. El potencial de rendimiento puede definirse como el rendimiento de una variedad en ambientes a los que se ha adaptado, donde no hay limitaciones en cuanto a agua y nutrientes y donde las plagas, enfermedades, malas hierbas, el acame y otros factores negativos se controlan con eficacia. Habrá muchos cultivos de trigo en los cuales el potencial de rendimiento, según esta definición, sea sólo una limitación menor del rendimiento, pero, a medida que dependemos más del riego o de cultivos con altos insumos como elementos estables fundamentales de la producción mundial de trigo, la limitación del potencial de rendimiento adquiere mayor trascendencia. Por ejemplo, el análisis de Silvey (1978) indica una evidente contribución mayor del potencial genético de rendimiento al aumento del rendimiento de trigo en Gran Bretaña en los últimos años, y se puede llegar a una conclusión similar con respecto al rendimiento y el potencial de rendimiento de los cultivos de maíz en Estados Unidos de América.

En cada etapa de la historia, la tendencia a creer que hemos alcanzado el límite se ha aplicado al rendimiento del trigo de igual forma que a otros parámetros del progreso. Cuando Van Gogh pintó su tragal hace apenas cien años, había "expertos" que pensaban que no era posible aumentar más el rendimiento. Incluso Vavilov manifestó un pensamiento parecido 50 años después, cuando el mayor rendimiento del trigo que llegó a conocer fue de 3.5 t/ha en

Inglaterra. Sin embargo, 50 años después, el rendimiento medio del trigo en el Reino Unido fue más del doble de esa cifra (7.6 t/ha en 1984) y el récord mundial de rendimiento del trigo es de 15.65 t/ha, logrado por John Potter en Tidworth, Inglaterra, en 1982. No obstante, Jensen (1978) y Austin (1978) fueron pesimistas con respecto a un mayor aumento del potencial de rendimiento; una cautelosa estimación de Austin señaló la cantidad de 11.4-12.9 t ha⁻¹ para el trigo de invierno en Gran Bretaña. Sin embargo, aún no hay señales de acercarse a una estabilización de ese mayor rendimiento en los Estados Unidos o el Reino Unido, y no se han explotado las ventajas del trigo híbrido y otros adelantos. Por ejemplo, los resultados preliminares obtenidos con trigos híbridos indican aumentos del potencial de rendimiento de 10-25% (McRae, 1985; Gale *et al.*, 1986; Bingham, 1986). Antes de considerar vías para futuras mejoras, necesitamos contar con un panorama del progreso del rendimiento logrado hasta el momento. Antes de considerar otras maneras de alcanzar un mayor progreso, necesitamos una perspectiva de los logros hasta la fecha.

Mayor potencial de rendimiento y mejor agronomía

La definición de potencial de rendimiento expresada antes indica cómo se le puede estimar mediante pruebas en las cuales los cultivos reciben agua en abundancia y son fertilizados, mantenidos y protegidos ampliamente. La protección contra el acame, las plagas y enfermedades es crucial para una evaluación justa de las variedades más viejas. Sin ello, se subestima su potencial de rendimiento y se sobrestima el posterior avance genético, como sucede en muchos estudios.

Nuestros experimentos con variedades de trigo de invierno británico (Austin *et al.*, 1980) indicaron que el potencial de rendimiento había crecido en un 40% en los 70 años a partir del momento en que se lanzó la variedad Little Joss, y que la tasa de incremento no parecía declinar.

Estas estimaciones directas pueden compararse con las estimaciones indirectas realizadas por medio de un análisis de pruebas con trigo de invierno efectuadas por el Instituto Nacional de Botánica Agrícola (INBA). Estas últimas ofrecen la ventaja de que las variedades se comparan en las condiciones agronómicas para las cuales fueron producidas, y la desventaja de que pueden sobrestimar el progreso cuando comienza a decaer la resistencia a las enfermedades de la variedad estándar obtenida. No obstante, los resultados fueron muy semejantes a los de mediciones más directas del potencial de rendimiento y dieron sólo una tasa de adelanto ligeramente superior, como puede observarse en la figura 1.

En cada etapa de la historia, la tendencia a creer que hemos alcanzado el límite se aplica a los rendimientos de trigo al igual que a otros parámetros del progreso.

Los experimentos de Fischer y Wall (1976) y de Waddington *et al.* (1986) señalan un índice semejante de mejoramiento del potencial de rendimiento de líneas de trigo harinero obtenidas en el CIMMYT (figura 1), y es evidente un mejoramiento más espectacular en los experimentos con líneas de trigo duro efectuados en el CIMMYT (Leihner y Ortíz, 1978; Waddington *et al.*, 1987), así como en los resultados de las pruebas del INBA con trigos de primavera británicos. Los aumentos relativos han sido más modestos en el caso de variedades de trigo cultivadas en el Estado de Nueva York (Jensen, 1978) y en Suecia (MacKey, 1979), pero los niveles absolutos de rendimiento también deben tomarse en cuenta al comparar estos programas de mejoramiento agrícola, como se hace en la figura 2, ya que los índices de mejoramiento más rápidos del potencial de rendimiento relativo corresponden a cultivos tales como el

trigo duro en el CIMMYT o el trigo de primavera en el Reino Unido, donde los niveles iniciales de rendimiento eran inferiores.

Nótese que la tasa absoluta de incremento del potencial de rendimiento en los últimos 10 a 15 años ha sido semejante para el trigo de primavera del Reino Unido y los trigos duros y de

primavera del CIMMYT, y mucho mayor para los trigos harineros que en años anteriores. En contraste, los rendimientos medios en el Reino Unido y en el Valle del Yaqui en México han divergido considerablemente en los últimos 10 años, como se muestra en la figura 3. La comparación entre las figuras 2 y 3 indica que la diferencia entre el rendimiento potencial y el rendimiento ha

Potencial de rendimiento relativo

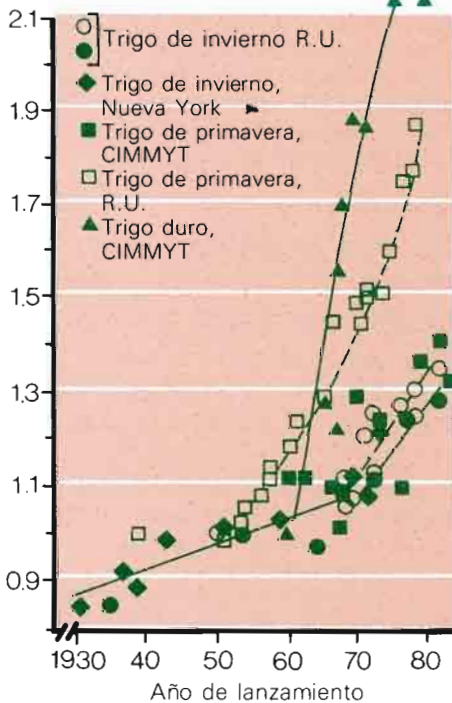


Figura 1. Cambios en el potencial de rendimiento relativo de variedades de trigo en relación con el año en que se lanzaron. Se asignó un valor de 1.0 a todas las variedades lanzadas en 1950, excepto los trigos duros.

Fuente: Austin *et al.*, (1980) en el caso de los trigos de invierno en el R.U., pruebas de INBA con variedades de trigo de invierno y primavera en el R.U.. Evans, 1980; trigos de invierno en el Estado de Nueva York: Jensen, 1978; trigos de primavera del CIMMYT, temporada 1983-84: Waddington *et al.*, 1986; trigos duros del CIMMYT, temporada 1983-84: Waddington *et al.*, 1987

Rendimiento de grano o biomasa (t/ha)

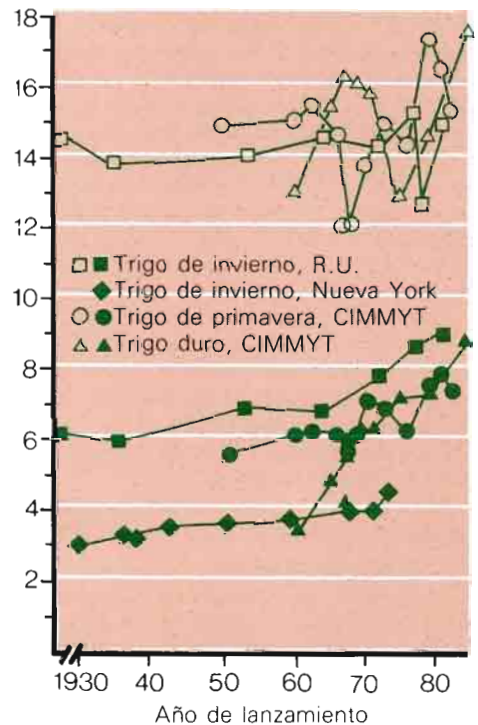


Figura 2. Cambios en el rendimiento por cosecha de granos (símbolos en negro) y biomasa aérea (símbolos en blanco, peso seco), con el año de lanzamiento de variedades de trigo producidas sin limitaciones en cuanto a agua, nutrientes, acame o plagas y enfermedades.

Fuente: Trigos de invierno del R.U. Austin *et al.*, 1980; trigos de invierno de Nueva York: Jensen, 1978; trigos de primavera del CIMMYT, 1983-84: Waddington *et al.*, 1986; trigos duros del CIMMYT, 1983-84: Waddington *et al.*, 1987

disminuido en el Reino Unido, pero se ha ampliado en el Valle del Yaqui, presumiblemente como resultado de las políticas socioeconómicas que, en el Reino Unido, favorecen el empleo de insumos y la agronomía intensiva.

Esta comparación me permite hacer hincapié en que el rendimiento real del cultivo depende tanto de la interacción entre el genotipo y el grado de apoyo agronómico que recibe el cultivo, que no tiene sentido dividir el crédito del aumento del rendimiento entre fitogenetistas y agrónomos, como si sus contribuciones fueran independientes unas de otras. No lo son, pero antes de discutir este tema, consideremos un caso más, en concreto el del trigo en Estados

Unidos. La figura 4 muestra el considerable incremento (dos veces y medio mayor) del rendimiento medio desde finales del decenio de 1940. El comienzo de este aumento coincide más o menos con la introducción de variedades más cortas, que en los últimos 10 a 15 años han ido siendo reemplazados por variedades semienanas. Como ha mostrado Dalrymple (1986), el incremento del rendimiento del trigo ha seguido muy de cerca la curva de la proporción de superficie sembrada con variedades cortas y semienanas, pero también coincide con el aumento de la proporción de cultivos de trigo que reciben fertilizantes, como se puede observar en la figura 4.

Rendimiento de grano (t/ha)

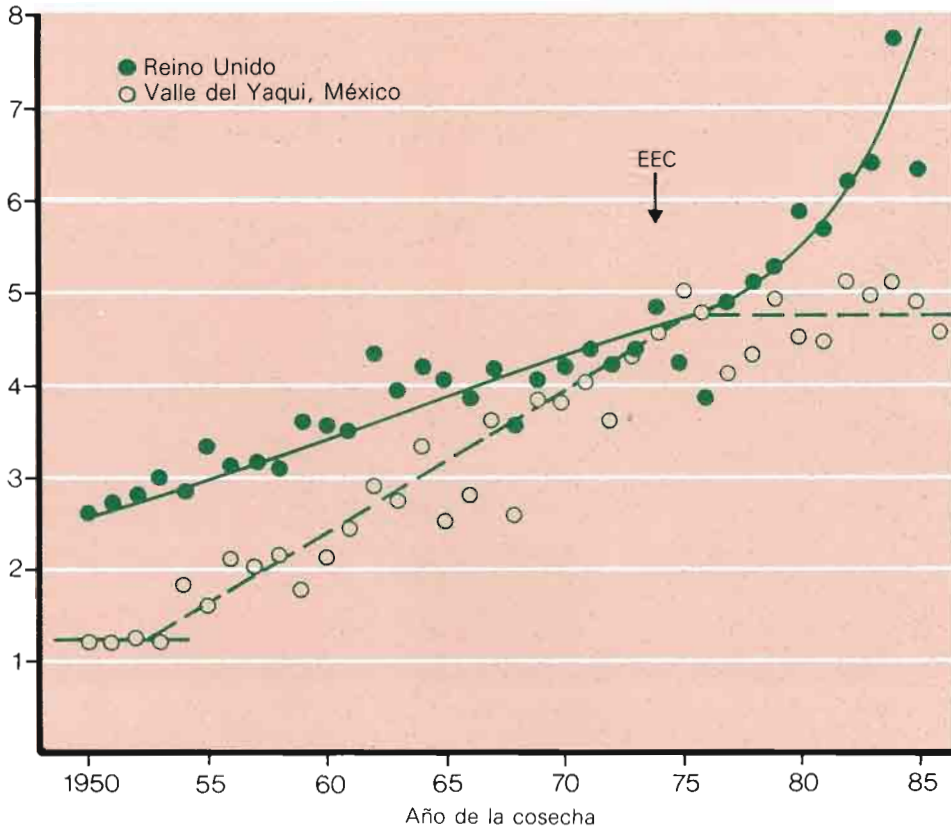


Figura 3. Rendimiento de trigo en R.U. (símbolos en negro, estadísticas de la FAO) y el Valle del Yaqui, México (símbolos en blanco, Secretaría de Agricultura y Ganadería).

Sin duda, no es fácil desligar las contribuciones de la fitogenética y de la agronomía al aumento del rendimiento del trigo. Tampoco debemos empeñarnos en hacerlo más allá de discernir dónde radican las principales limitaciones, ya que su interacción es crucial para lograr futuros incrementos no sólo del rendimiento en sí sino también del potencial de rendimiento.

Es bien sabido que el mejoramiento de las variedades promueve el mayor empleo de insumos y la mejor agronomía; la figura 4 puede interpretarse bajo este aspecto. Sin embargo, es igualmente cierto que los avances en la agronomía brindan nuevas oportunidades para la fitogenética. El ejemplo más conocido es la aparición de fertilizantes nitrogenados más baratos, los cuales crearon la necesidad de cereales más cortos y menos propensos al acame, mientras que el desarrollo de herbicidas más eficaces hizo posible este cambio. Mejores herbicidas y maquinaria para una labranza más rápida facilitaron el cultivo oportuno y las modificaciones

del calendario agrícola. Como resultado, ahora puede sembrarse trigo de invierno en el Reino Unido un mes o más antes, lo que abre oportunidades para aumentar el rendimiento, particularmente ahora que se han producido variedades para aprovechar este cambio (Bingham *et al.*, 1985).

No obstante, existe una interdependencia más sutil entre la fitogenética y la agronomía que es necesario comprender mejor, dada la importancia de sus implicaciones. Como veremos más adelante, el aumento del potencial de rendimiento del trigo se ha conseguido sin un incremento en las tasas de crecimiento de fotosíntesis, y sin mucho cambio en la biomasa (por ejemplo, figura 2). Sin duda, tuvo que provenir de modificaciones de la distribución de la biomasa entre los diferentes órganos de la planta, como señaló por primera vez Van Dobben (1962). Pero es probable que al reducirse las cuotas correspondientes al crecimiento de raíces, tallos y hojas, o de las reservas, disminuyan la competencia con la

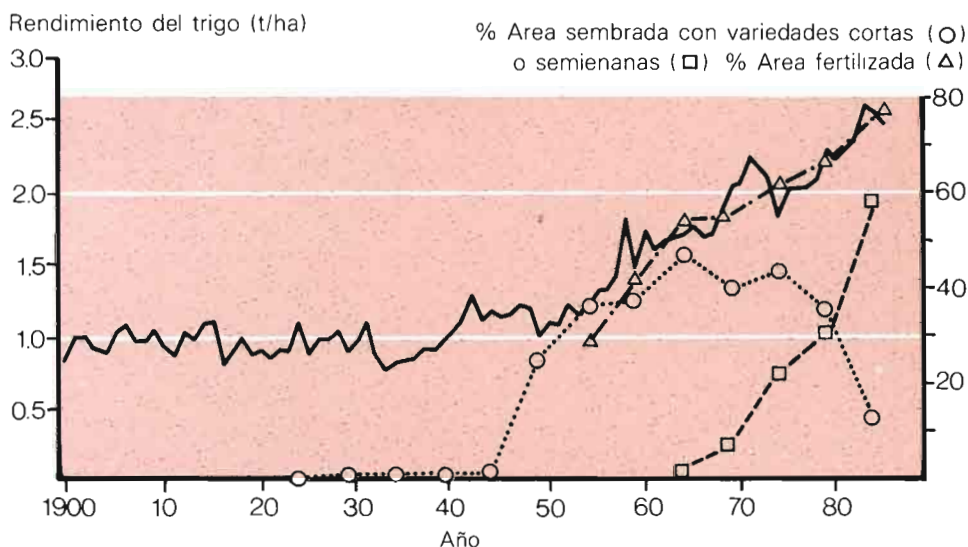


Figura 4. Rendimiento de trigo en Estados Unidos en relación con cambios en la proporción de superficie con variedades cortas o semienanas.

Fuente Adaptado de Dalrymple (1986), con el agregado de datos del % de superficie fertilizada, del 5° Censo Anual de Agricultura de Estados Unidos de América (Dalrymple, 1980)

maleza, la recuperación de los ataques de plagas y enfermedades y la capacidad de sobrevivir a factores negativos ambientales y de otro tipo. Sin embargo, a medida que ha mejorado el control agronómico de las amenazas para el cultivo del trigo y éstas se han vuelto más fáciles de pronosticar, el fitogenetista ha podido seleccionar variedades con una reducida inversión en tallos, hojas, raíces y otras reservas, con lo cual libera las sustancias asimiladas para una mayor inversión en los granos, un alto índice de cosecha y mayor potencial de rendimiento. Esta es una razón por la que los fitogenetistas prefieren seleccionar en condiciones de alto insumo, pero explica también por qué algunas variedades mejoradas tal vez no funcionen adecuadamente en condiciones adversas, y por qué pueden encontrarse altibajos en el rendimiento.

Dicha interdependencia también hace que sea importante para centros como el CIMMYT mantener un equilibrio apropiado y una activa interacción entre su fitogenética y la agronomía, si se desea asegurar nuevos aumentos del potencial de rendimiento. La sentencia "No sólo de pan" debe ampliarse con 'ni sólo de la fitogenética'.

Con estos antecedentes, vayamos a las cinco áreas que ofrecen oportunidades de aumentar el potencial de rendimiento del trigo, a saber:


- Crecimiento y fotosíntesis
- Sincronización del ciclo reproductivo
- Modificaciones de la distribución de la biomasa
- Procesos reguladores
- Respuestas ambientales

Al hacerlo, debemos tener presente que el rendimiento de un cultivo es el producto final integrado de muchos procesos. No hay una clave única para aumentar el potencial de rendimiento, ningún criterio establecido, y cada característica interactúa no sólo con el ambiente, sino también con el resto del genoma.

Crecimiento y fotosíntesis

A los fitogenetistas a menudo les es difícil creer a los fisiólogos cuando afirman que la tasa de rendimiento no ha sido hasta el momento mejorada por la selección, ya que su experiencia suele indicar lo contrario. Con sólo un brote ligeramente más temprano o con un embrión más grande en la semilla, se pueden obtener plantas considerablemente más grandes en cualquier momento, y es necesario efectuar cosechas periódicas para decidir este asunto. Deben compararse las tasas de crecimiento relativo (TCR), o sea, las tasas logarítmicas de aumento, en plantas del mismo tamaño. Una vez hecho esto con el trigo, los valores de la TCR son notablemente similares ya sea que se comparen plantas cultivadas o silvestres, diploides o hexaploides, altas o enanas, o líneas homocigóticas o híbridas (Evans y Dunstone, 1970, y trabajo inédito; Evans y Bush, 1987).

Las tasas de crecimiento de cultivos (TCC) son muy sensibles a la irradiación (Fischer, 1985a) y se han efectuado muy pocas comparaciones entre genotipos. La estatura afecta muy poco la TCC (Fischer *et al.*, 1981), pero ésta puede ser mayor en variedades con hojas más inclinadas (Green, 1987). Se ha medido con más frecuencia la biomasa en la madurez. Austin *et al.* (1982) no encontraron diferencias sistemáticas en la biomasa final entre diversos genomas y grados de ploidía del trigo, y las comparaciones entre variedades viejas y modernas realizadas por Van Dobben (1962), Austin *et al.* (1980), Deckerd *et al.* (1985) y Kulsrestha y Jain (1982), no revelaron un incremento en la biomasa cuando había aumentado el potencial de rendimiento (por ejemplo, figura 2). Waddington *et al.* (1986) encontraron que tres de los trigos de mayor rendimiento producidos recientemente en el CIMMYT tenían mayor biomasa y tasas aparentes de acumulación de biomasa más elevadas, pero estas tres variedades requerían además mayor tiempo para llegar a la madurez, probablemente experimentaron temperaturas medias más altas y pasaron



una mayor proporción del ciclo de vida con follaje cerrado. La comparación entre trigos duros del CIMMYT de diferentes cosechas también indicó que existía mayor biomasa en algunas variedades recientes (Waddington *et al.*, 1987, véase la figura 2), pero en este caso la explicación no es una mayor duración. No obstante, estos resultados no contradicen necesariamente la conclusión de que las tasas de crecimiento máximo no han aumentado. Sencillamente puede ser que exista un mayor crecimiento tardío, como parece suceder con la "permanencia verde" más prolongada de los híbridos modernos del maíz, con la cebada de alta biomasa, y con algunos trigos de hojas laxas (Green, 1987).

La tasa de crecimiento depende del equilibrio entre lo que se gana en la fotosíntesis y lo que se pierde en la respiración. Esto último puede ser una fracción importante una vez cerrado el follaje y aún conocemos muy poco acerca de las posibles diferencias entre las variedades en cuanto a la eficiencia y el acoplamiento de la respiración en la oscuridad. En lo que se refiere a la fotosíntesis, no existen pruebas en el trigo que indiquen un aumento de la tasa máxima por unidad de superficie foliar. De hecho, la comparación entre los diploides silvestres y los hexaploides modernos indica que esta tasa ha disminuido considerablemente en el curso de la domesticación y el mejoramiento (Evans y Dunstone, 1970; Khan y Tsunoda, 1970; Austin *et al.*, 1982).

Esta aparente paradoja resulta de una relación a menudo negativa entre la superficie foliar y la tasa de intercambio de CO₂ (TID). Para una determinada cantidad de peso foliar y enzimas fotosintéticas, la planta puede tener una superficie más grande con una TID más baja o viceversa. La primera estrategia es mejor en las primeras etapas de crecimiento del cultivo y cuando las plantas están esparcidas o hay malezas, mientras la segunda es más apropiada en plantaciones densas. La selección

entre plantas espaciadas para obtener un alto rendimiento a menudo parece dar por resultado hojas más grandes, lo que podría explicar la disminución de la TID, a pesar de que la relación negativa entre la superficie foliar y la TID no siempre es fuerte (Rawson *et al.*, 1983).

La TID del trigo es similar a la de otras plantas de cultivo con una ruta de C₃ de fotosíntesis, tales como el arroz, pero notablemente menor que las tasas máximas encontradas en cultivos con ruta C₄, tales como el maíz y el mijo, como lo muestra la figura 5. Una TCR más elevada se asocia con una alta TID, si bien no es necesariamente causada por ella, pero el mayor rendimiento del mijo C₄ con temperaturas elevadas tiene su contraparte en un comportamiento mucho más pobre con temperaturas bajas. De hecho, el trigo se acondiciona mejor a la temperatura durante el crecimiento y la fotosíntesis, y se adapta tan bien a su nicho ecológico como lo hacen el arroz y el mijo.

La esperanza más espectacular, si bien remota, de mejoramiento sería el descubrimiento u obtención de una forma más eficiente de la enzima fotosintética 1,5 difosfato de ribulosa carboxioxigenasa (rubisco), que a menudo limita la tasa de fotosíntesis. Esa enzima constituye hasta la tercera parte de las proteínas de las hojas del trigo y puede determinar su tasa fotosintética (Evans, 1983). Esta enzima clave ha estado necesariamente bajo una fuerte presión de selección natural y artificial. Se ha encontrado cierta variación en su K_m y en su actividad específica en diversas variedades de trigo (Evans y Seemann, 1986). Sin embargo, con líneas aloplásmicas no se ha detectado ninguna diferencia entre los genomas nucleares del trigo en su efecto sobre la actividad específica del rubisco a través de la subunidad pequeña, si bien se encontraron diferencias asociadas con la subunidad grande (alta para citoplasmas B y S, baja para citoplasmas A y D) sólo *in vitro* (Evans y Austin, 1986). No es muy grande la probabilidad de que la ingeniería genética llegue a producir una

actividad específica del rubisco considerablemente mayor, si bien sus repercusiones potenciales son tan grandes que justifican un esfuerzo continuo.

Sincronización del ciclo reproductivo

La difusión del cultivo de trigo en todo el mundo ha dependido en gran medida de la capacidad de los fitogenetistas para realizar modificaciones cuando el cultivo llega a estadios tales como el inicio de la inflorescencia, la antesis y la madurez, en relación con las condiciones climáticas locales. Dichas modificaciones, por medio de una selección empírica para evitar el desarrollo reproductivo inoportuno, conducen a una restringida adaptación local. Sin embargo, centros internacionales como el CIMMYT, que producen variedades de trigo para

diferentes medios, no tienen más opción que hacer hincapié en la adaptabilidad y, por lo tanto, en la relativa insensibilidad a las señales estacionales mediante las cuales se obtiene la adaptación estrictamente local. A pesar de que dicho énfasis puede haber involucrado cierta pérdida del potencial de rendimiento local, esto probablemente ha sido compensado con creces por las ventajas de un programa de cruzamientos en gran escala y de gama muy amplia, que une genes para lograr una influencia favorable sobre el potencial de rendimiento general. Los experimentos de Waddington *et al.* (1986, 1987) indican que estas ventajas no están de ningún modo agotadas, pero también es probable que exista un vasto campo para otros aumentos del potencial de rendimiento mediante la selección para la adaptación local.

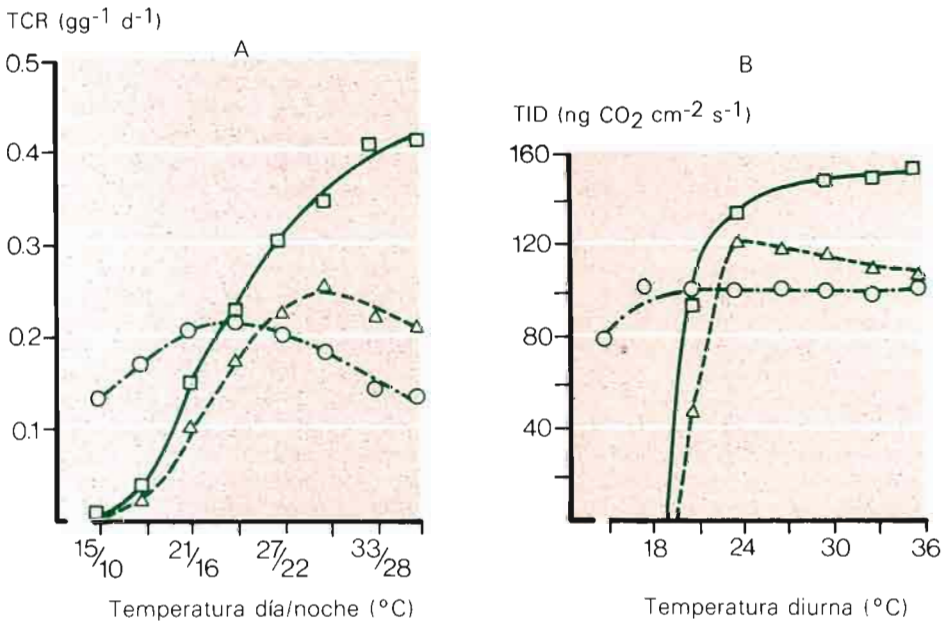



Figura 5. Tasas de crecimiento relativo (A) y tasas fotosintéticas (B) de la variedad de trigo Yaqui, el arroz IR8 y el mijo *Echinochloa frumentacea*, de acuerdo con la influencia de la temperatura.

Fuente: Evans y Bush (1985).



Por ejemplo, indudablemente será ventajoso lograr una estrecha concordancia entre el ciclo vital del cultivo y la duración de la temporada de cultivo, y sincronizar las etapas fundamentales con la secuencia probable de temperatura, irradiación, fotoperíodo y factores negativos, como la sequía o las heladas y las enfermedades. La necesidad de evitar el daño causado por las heladas a plantas jóvenes inflorescentes, la influencia de la sequía durante la meiosis o las altas temperaturas durante el llenado de granos, pueden requerir un enérgico control ambiental durante la iniciación de la florescencia y el desarrollo que se han logrado mediante la selección a partir de variedades adaptables. Las condiciones ambientales desfavorables pueden conducir a una clara definición de los tiempos óptimos para la antesis (por ejemplo, Woodruff y Tonks, 1983), pero, incluso cuando no existen esas condiciones, es muy probable que haya un equilibrio óptimo entre las etapas principales del ciclo vital, que varía de acuerdo con la secuencia estacional de las condiciones ambientales.

En consecuencia, como lo han señalado Syme (1968), Hunt (1979), Ford *et al.* (1981), Hoogendoorn (1985) y otros investigadores, existen diferencias regionales pronunciadas en la magnitud relativa de las respuestas a la vernalización y al fotoperíodo, tanto en los trigos de primavera como en los de invierno (Davidson *et al.*, 1985). Muchas variedades de altas latitudes son sensibles al fotoperíodo, y muchas de latitudes medias a la vernalización, mientras que las de bajas latitudes tienden a ser insensibles a ambos factores. Se conocen bien los genes principales relacionados con las respuestas a la vernalización y al fotoperíodo (Law y Scarth, 1984), pero estamos lejos de conocer adecuadamente las formas en que influyen sobre el potencial de rendimiento. Por ejemplo, aún no está claro por qué muchas variedades australianas muestran una respuesta significativa a la vernalización, o por qué

muchos trigos de invierno de Europa responden a una vernalización de día corto.

Aún se puede avanzar mucho mediante otras modificaciones del control del ciclo reproductivo, como lo indicaron los descubrimientos de Waddington *et al.*, (1987) sobre la importancia de la antesis tardía para el potencial de rendimiento de los trigos duros. Mi reciente trabajo con trigos de invierno indica que el control que ejerce el fotoperíodo sobre el inicio de la florescencia puede ser muy independiente y distinto del que efectúa sobre el desarrollo de la florescencia, y los genes que se obtengan a partir del trigo de invierno pueden contribuir a aumentar el potencial de rendimiento de los trigos de primavera en diversas formas.

A medida que cambien las prácticas agronómicas, puede ser necesario modificar también el ciclo reproductivo. Por ejemplo, la preparación más rápida de la tierra hace ahora posible sembrar el trigo de invierno europeo un mes o más antes, y la necesidad de utilizar cantidades considerables de nitrato residual en el suelo antes del invierno hace conveniente una siembra temprana, tanto por criterios ambientales como de eficacia (Bingham *et al.*, 1985). No obstante, es probable que dicho cambio requiera una selección para lograr una postergación del inicio de la florescencia con el fin de asegurarse de que no ocurra antes del invierno.

La postergación del inicio de la florescencia también puede ser importante para el trigo en latitudes bajas. Hoogendoorn (1985) encontró que el trigo de bajas latitudes llega rápidamente al espigamiento no sólo a causa de su insensibilidad a la vernalización y al fotoperíodo, sino también por su intrínseca precocidad. Esta última característica comenzó a ser estudiada en el trigo hace poco tiempo, después de ser identificada por Hunt (1979) y Ford *et al.* (1981). Se encuentra en trigos de altas latitudes, donde es necesaria por la brevedad de la temporada de cultivo, pero puede ser

desventajosa para el potencial de rendimiento de los trigos de bajas latitudes con escasa respuesta al fotoperíodo o a la vernalización. Cuando estos últimos se cultivan en temperaturas cálidas, puede requerirse un factor no estacional que retrase el inicio de la florescencia, para reemplazar a los factores estacionales habituales. Cuando el Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI) introdujo en el arroz la insensibilidad al fotoperíodo junto con la estatura semienana, sucedió que esto fue compensado por una fase vegetativa básica o juvenil muy prolongada en la IR8, que contribuía a su alto potencial de rendimiento; los trigos de bajas latitudes pueden beneficiarse de manera similar ya que, como ha señalado Fischer (1985b), el aspecto fundamental del bajo rendimiento del trigo en los trópicos es la aceleración del desarrollo con las temperaturas más elevadas.

Modificación de la distribución de la biomasa


Ya hemos observado que gran parte del aumento del potencial de rendimiento del trigo logrado anteriormente ha surgido de una modificación de la distribución de la biomasa en el cultivo; la selección para obtener esto fue posible gracias a un mejor apoyo agronómico a los cultivos. No hay razón para suponer que esta modificación ya ha llegado a su límite en el caso del trigo. De hecho, Austin *et al.* (1980) estiman que el índice de cosechas de trigo podría alcanzar el 62%, con lo que aumentará el potencial de rendimiento otro 25%; esto será viable mediante la selección a medida que progrese la práctica de la agronomía.

La introducción de los genes Rht1 y Rht2 para altura reducida, posible gracias a un mejor control de la maleza y necesaria por el amplio empleo de fertilizantes nitrogenados, ha tenido probablemente la mayor repercusión sobre el rendimiento del trigo no sólo al reducir el acame sino también al aumentar el potencial de rendimiento. Sin embargo, no es fácil documentar esta afirmación ya que, a pesar de su

enorme trascendencia para el abastecimiento mundial de alimentos, aún no sabemos bien cómo influyen estos genes Rht sobre el rendimiento.

Pueden introducirse genes importantes en el trigo mediante técnicas de la biología molecular, pero aún será necesario que fitogenetistas expertos lleven a cabo prolongadas observaciones y selecciones para intensificar al máximo el efecto de dichos genes sobre el potencial de rendimiento.

El agregar los genes Rht 1, 2 ó 3 no tiene un efecto observable sobre la tasa de crecimiento relativo, pero algunas veces retrasa la germinación inicial de manera que las plantas más enanas parecen crecer con mayor lentitud. Las hojas tardías de las plantas más enanas están muy juntas, lo que podría reducir la penetración de la luz en el follaje del cultivo, y ser la causa de la ligera reducción de la tasa de crecimiento de los trigos más enanos (Rht 3) examinados por Fischer *et al.* (1981). En nuestro trabajo con líneas isogénicas del Yaqui 50 y el Ciano 67, gentilmente proporcionadas por el CIMMYT, disminuyó el peso del tallo en relación con su altura, dejando libre una fracción considerable de sustancias asimiladas para invertirlas en otros órganos, como los macollos y las reservas. Ni en nuestros experimentos ni en los de Fischer y Stockman (1986), a pesar de que nuestros resultados diferían en cuanto a cantidades relativas, fue mayor la cantidad absoluta de reservas solubles en los tallos de las líneas más bajas. No obstante, sin duda la mayor parte de los ahorros provenientes del crecimiento reducido de los tallos se invierten inmediatamente en otros órganos, en lugar de servir de reservas para apoyar un futuro crecimiento extra del grano.



En este punto, parece existir una interesante diferencia en lo que hacen con la biomasa ahorrada los trigos de invierno y primavera. El aumento de la tasa de crecimiento de la florescencia en los trigos de invierno compensa la disminución del crecimiento del tallo (Brooking y Kirby, 1981), produciendo espigas más pesadas en la antesis y proporcionalmente más granos por espiga en la madurez; este fenómeno es contrarrestado hasta cierto punto por una reducción del peso del grano. La investigación de Gale y Youssefian (1985) indica que éste es el efecto normal de los genes *Rht* en el trigo de invierno, mientras que en los trigos de primavera (duros y harineros) su efecto es bastante diferente ya que aumenta el número de espigas en lugar del número de granos por espiga, y esto es menos ventajoso para el rendimiento. Los resultados obtenidos al comparar líneas isogénicas y grupos de líneas alélicas del trigo de primavera que difieren en cuanto a su alelo *Rht*, contrastan claramente con los resultados de las comparaciones establecidas por Fischer y Stockman (1986) entre variedades de trigo de primavera de alto rendimiento con alelos *Rht* diferentes, en las cuales aumentaron los granos por espiga mucho más que las espigas por planta. El ajuste de los antecedentes genéticos tiene sin duda un efecto importante sobre la forma en que los genes *Rht* influyen en el potencial de rendimiento.

Nuestros experimentos con líneas isogénicas del CIMMYT (Evans y Bush, 1987) subrayan este punto ya que el efecto de los diversos genes *Rht* parece diferir en las líneas Yaqui 50 y Ciano 67 en varios aspectos, en particular con respecto al número de granos, así como sucede entre los trigos de invierno y los de primavera. En los Ciano 67 más enanos, era mucho menor el número de granos en la madurez que lo que se esperaba de acuerdo con el peso de la espiga en la antesis, en especial en condiciones más frías con el gen *Rht3*. Sin embargo, en estas condiciones, el gen *Rht3* produjo un aumento del número de granos en el trigo de primavera April Bearded (Gale y

Flintham, 1984), y también en trigos de invierno heterocigóticos sólo en relación con el gen *Rht3* (Gale *et al.* 1986).

Sin embargo, la medida en que los ahorros provenientes del crecimiento de los tallos promueven el crecimiento de las espigas también depende de las condiciones ambientales. Con irradiación escasa o altas temperaturas, las espigas del Yaqui 50 y el Ciano 67 fueron más pesadas en la antesis, en la misma medida que fueron más livianos los tallos. Sin embargo, con temperaturas frías o irradiación elevada, las espigas de las líneas más altas fueron tan pesadas como las de las líneas bajas o, incluso, más pesadas que éstas. Esto indica que el empleo de genes *Rht* de los trigos de primavera puede surtir mayor efecto sobre el potencial de rendimiento en latitudes bajas. Con las líneas isogénicas del Ciano y en condiciones intermedias, se encontraron pruebas de que se lograba la altura óptima para el potencial de rendimiento, lo cual puede hacer que el gen *Rht3*, de efectos extremos, sea particularmente valioso en la producción de híbridos (Gale *et al.*, 1986).

Parece probable que aún se necesiten otros ajustes genéticos para convertir los ahorros potenciales que resultan de la incorporación de genes *Rht* en un potencial de rendimiento viable, como sucedió con los trigos duros del CIMMYT cuando se introdujeron por primera vez los genes *Rht* (Leihner y Ortiz, 1978). Por lo tanto, tal vez sea preciso modificar la conclusión de Waddington *et al.*, (1986, 1987) acerca de que es poco probable que los aumentos recientes en el potencial de rendimiento de los trigos del CIMMYT hayan sido causados por los genes *Rht* 1 y 2, y que no obedecen a cambios de los patrones de distribución. Este análisis también indica que, a pesar de que pueden introducirse genes importantes en el trigo mediante técnicas de la biología molecular, aún será necesario que fitogenetistas expertos lleven a cabo prolongadas observaciones y selecciones para intensificar al máximo el efecto de dichos genes sobre el potencial de rendimiento.

Procesos reguladores

Los aumentos anteriores del potencial de rendimiento han involucrado modificaciones del funcionamiento de los procesos reguladores, más que de la eficiencia de los procesos asimilatorios. Los cambios en la distribución y el aumento del índice de cosechas se han originado esencialmente en la reducción de las demandas de sustancias asimiladas por parte de los órganos vegetativos, lo cual permite una mayor inversión en la florescencia joven. Esto lleva entonces a la diferenciación de más florecillas y a la formación de más granos, lo cual a su vez crea un vertedero mayor en la competencia por sustancias asimiladas (Cook y Evans, 1983). Según esta interpretación, el aumento del número de granos por espiga o por metro cuadrado de cultivo ha sido la fuerza impulsora para incrementar el potencial de rendimiento. Tal vez la fotosíntesis del cultivo no haya podido funcionar al mismo ritmo y, por lo menos al comienzo, puede producirse una disminución del peso de los granos.


Por ejemplo, en los trigos duros del CIMMYT incluidos en el experimento de 1983-84, el número de granos m^{-2} aumentó en un 209%, y el número de granos por espiga en un 114%, desde el Tehuacán 60 al Carcomun "S", pero el peso de los granos se redujo en un 16% aunque se duplicaron la tasa de crecimiento de granos m^{-2} y el índice de cosecha (Waddington *et al.*, 1987). Como lo señala Bingham (1986), existen muchos genes con gran efecto para aumentar el número de granos m^{-2} , pero su acción sobre el rendimiento puede ser muy pequeña, a menos que vaya acompañada de una mayor capacidad de llenado de granos, como parece suceder con los trigos híbridos (Bingham, 1986; Gale *et al.*, 1986). No obstante, también sabemos que en el caso del trigo la tasa fotosintética responde a una mayor demanda por parte de los granos y que, cuanto mayor sea la demanda, más tiempo se mantendrán las tasas altas (por ejemplo, King *et al.* 1967; Rawson *et al.*, 1976; Atsmon *et al.*, 1986). En consecuencia, la selección para obtener un aumento progresivo del número de

granos debe posibilitar la selección para lograr una fotosíntesis más rápida o más prolongada durante la etapa de crecimiento del grano, hecho que aumentaría indirectamente la biomasa del cultivo.

La duración del crecimiento del grano no está determinada simplemente por el abastecimiento de sustancias asimiladas sino también por la constitución genética, que influye mediante controles reguladores sobre el tamaño del grano y el tiempo en el que el depósito de lípidos en la zona de la chalaza pone término al crecimiento del grano (Sofield *et al.*, 1977). Sin embargo, para intensificar al máximo el potencial de rendimiento se requiere que la duración de la actividad fotosintética en las hojas esté sincronizada con la duración del crecimiento del grano. Si sobreviene muy pronto la senescencia de las hojas, se limita el crecimiento de los granos, pero, de igual forma, si el primero de estos procesos se produce demasiado tarde, el resultado es que las enzimas fotosintéticas de las hojas no se vuelven a movilizar ni se utilizan en el crecimiento del grano. Es muy probable que la selección modifique éstos y otros procesos reguladores a medida que el mejoramiento agronómico lo haga conveniente, pero los reguladores del crecimiento pueden utilizarse cada vez más como sustitutos de la selección, del mismo modo que se han usado los fertilizantes nitrogenados como sustitutos del mejoramiento genético de la tasa de la fotosíntesis.

Respuestas ambientales

Las condiciones ambientales causan profundos efectos sobre el rendimiento del trigo, pero ésta no es la ocasión para examinarlos y debo concentrarme en un solo aspecto de la influencia del ambiente sobre el potencial de rendimiento: el equilibrio entre la asimilación fotosintética y el ciclo reproductivo. Incluso en el caso de los trigos de primavera, las temperaturas frías reducen el desarrollo reproductivo relacionado con el crecimiento vegetativo y la fotosíntesis, dando por resultado que la tasa de fotosíntesis limite menos el



rendimiento. El rendimiento de los granos es menos sensible a la irradiación en temperaturas frías y responde menos al enriquecimiento con CO₂ (Krenzer y Moss, 1975). Cuando las temperaturas son altas, el desarrollo reproductivo se acelera en relación con la asimilación, la tasa de fotosíntesis es más limitante y el rendimiento más sensible a la irradiación y a la concentración de CO₂. Gifford (1977) ha estimado que, en condiciones favorables, el rendimiento del trigo aumentará un 0.25% por cada vpm de aumento de la concentración de CO₂, pero las temperaturas más altas que podrán acompañar el aumento de las concentraciones de CO₂ atmosférico tenderán a anularlo. Fischer y Maurer (1976) encontraron que el rendimiento de los granos es muy sensible aun a leves aumentos de temperatura en el campo.

No existe una llave maestra para aumentar el potencial de rendimiento. La importancia de los procesos que lo limitan depende tanto del ambiente externo como del medio genético interno.

Por esto, dependen de las condiciones ambientales no sólo el potencial de rendimiento sino también los procesos que lo limitan, en especial el equilibrio entre asimilación y crecimiento del grano. El potencial de rendimiento no es una entidad abstracta sino el resultado de interacciones entre el genoma, el ambiente y la agronomía.

Conclusiones

Todavía podemos visualizar muchos caminos posibles para aumentar el potencial de rendimiento del trigo y no hay razón para pensar que se acerca a su límite. Nuestros conocimientos actuales sobre los procesos involucrados restringen a menudo los modelos y cálculos que indican lo contrario.

No existe una llave maestra para aumentar el potencial de rendimiento. Pueden limitarlo muchos procesos, ya sean consecutivos, cooperativos, competitivos o antagónicos, cuya trascendencia depende tanto del ambiente externo como del medio genético interno. Se requieren análisis fisiológicos y genéticos para identificar las oportunidades de progreso, pero la selección empírica orientada por dichos análisis sigue siendo el camino más seguro para avanzar.

Los futuros aumentos del potencial de rendimiento por medio de la fitogenética dependerán mucho de las innovaciones y avances en el apoyo agronómico a los cultivos de trigo. No podemos anticiparlos, pero es muy probable que continúen brindando nuevas oportunidades para el progreso fitogenético. Como lo expresó Medawar (1972): "Ridicularizar la esperanza de progreso es la máxima necedad, la última palabra en cuanto a pobreza de espíritu y mezquindad de la mente. No debemos desmayar sólo porque no podemos aún visualizar la solución definitiva de nuestros problemas".

Agradecimiento

Deseo expresar mi gratitud al Dr. R.A. Fischer por sus alentadores comentarios a este manuscrito, y a los Dres. D.G. Dalrymple y M.D. Gale por permitirme citar sus manuscritos inéditos.

Referencias

- Atsmon, D., M.G. Bush y L.T. Evans. 1986. Effects of environmental conditions on expression of the "Gigas" characters in wheat. Australian Journal of Plant Physiology 13:365-379.
- Austin, R.B. 1978. Actual and potential yields of wheat and barley in the United Kingdom. ADAS Quarterly Review 29:76-87.
- Austin, R.B. 1982. Crop characteristics and the potential yield of wheat. Journal of Agricultural Science, Cambridge 98:447-453.

-
- Austin, R.B., J. Bingham, R.D. Blackwell, L.T. Evans, M.A. Ford, C.L. Morgan y M. Taylor. 1980. Genetic improvements in winter wheat yields since 1900 and associated physiological changes. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 94:675-689.
- Austin, R.B., C.L. Morgan, M.A. Ford y S.G. Bhagwat. 1982. Flag leaf photosynthesis of *Triticum aestivum* and related diploid and tetraploid species. *Annals of Botany* 49:177-189.
- Bingham, J. 1986. Adoption of new techniques in wheat breeding. New Zealand Plant Breeding Conference. (En prensa.)
- Bingham, J., J.A. Blackman y R.A. Newman. 1985. Wheat: A guide to varieties from the Plant Breeding Institute. National Seed Development Organization, Newton, Cambridge, Inglaterra. 80 pp.
- Brooking, I.R. y E.J.M. Kirby. 1981. Inter-relationships between stem and ear development in winter wheat: The effects of a Norin 10 dwarfing gene, Gai/Rht2. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 97:373-381.
- Cook, M.G. y L.T. Evans. 1983. The roles of sink size and location in the partitioning of assimilates in wheat ears. *Australian Journal of Plant Physiology* 10:313-327.
- Dalrymple, D.G. 1980. Development and spread of semi-dwarf varieties of wheat and rice in the United States: An international perspective. United States Department of Agriculture, Washington, D.C., EUA. 150 pp.
- Dalrymple, D.G. 1986. Changes in wheat varieties and yields in the United States, 1919-1984. (No publicado.)
- Davidson, J.L., K.R. Christian, D.B. Jones y P.M. Bremner. 1985. Responses of wheat to vernalization and photoperiod. *Australian Journal of Agricultural Research* 36:347-359.
- Deckerd, E.L., R.H. Busch y K.D. Kofoid. 1985. Physiological aspects of spring wheat improvement. *In: Exploitation of Physiological and Genetic Variability to Enhance Crop Productivity*, J.E. Harper, L.E. Schrader y R.W. Howell, eds. American Society of Plant Physiology, Rockville, Maryland, EUA. Pp.46-54.
- Evans, J.R. 1983. Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.) *Plant Physiology* 72:297-302.
- Evans, J.R. y R.B. Austin. 1986. The specific activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase in relation to genotype in wheat. *Planta* 167:344-350.
- Evans, J.R. y J.R. Seemann. 1984. Differences between wheat genotypes in specific activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase and the relationship to photosynthesis. *Plant Physiology* 74:759-765.
- Evans, L.T. 1980. Reponse to challenge: William Farrer and the making of wheats. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 46:3-13.
- Evans, L.T. y M.G. Bush. 1985. Growth and development of channel millet (*Echinochloa turneriana*) in relation to its potential as a crop plant and compared with other *Echinochloa* millets, rice, and wheat. *Field Crops Research* 12:295-317.
- Evans, L.T. y M.G. Bush. 1987. Growth and development in tall and dwarf isogenic lines of wheat. *Field Crops Research*. (En prensa.)

- Evans, L.T. y R.L. Dunstone. 1970. Some physiological aspects of evolution in wheat. *Australian Journal of Biological Science* 23:725-741.
- Fischer, R.A. 1985a. Number of kernels in wheat crops and the influence of solar radiation and temperature. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 105:447-461.
- Fischer, R.A. 1985b. Physiological limitations to producing wheat in semi-tropical and tropical environments and possible selection criteria. *In: Wheats for More Tropical Environments, A Proceedings of the International Symposium. CIMMYT, México.* Pp.209-230.
- Fischer, R.A., F. Bidinger, J.R. Syme y P.C. Wall. 1981. Leaf photosynthesis, leaf permeability, crop growth, and yield of short spring wheat genotypes under irrigation. *Crop Science* 21:367-373.
- Fischer, R.A. y O.R. Maurer. 1976. Crop temperature modification and yield potential in a dwarf spring wheat. *Crop Science* 16:855-859.
- Fischer, R.A. y Y.M. Stockman. 1986. The cause of increased number of kernels in Norin-10 derived dwarf wheats. *Australian Journal of Plant Physiology.* (En prensa)
- Fischer, R.A. y P.C. Wall. 1976. Wheat breeding in Mexico and yield increases. *Journal of the Australian Institute of Agricultural Science* 42:139-148.
- Ford, M.A., R.B. Austin, W.J. Angus y G.C.M. Sage. 1981. Relationships between the responses of spring wheat genotypes to temperature and photoperiodic treatment and their performance in the field. *Journal of Agricultural Science, Cambridge* 96:623-634.
- Gale, M.D. y J.E. Flinham. 1984. The effect of the Tom Thumb dwarfing gene on grain size and grain number in wheat (*Triticum aestivum*). *In: Semi-Dwarf Cereal Mutants and their Use in Cross-Breeding II. IAEA-TECDOC 307, Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria.* Pp 63-69.
- Gale, M.D., A.M. Salter, F.C. Curtis y W.J. Angus. 1986. The exploitation of the Tom Thumb dwarfing gene, Rht3, in F₁ hybrid wheats. *In: Semi-Dwarf Cereal Mutants for Cross Breeding IV. Agencia Internacional de Energía Atómica, Viena, Austria.* (En prensa.)
- Gale, M.D. y S. Youssefian. 1985. Dwarfing genes in wheat. *Progress in Plant Breeding*, G.E. Russell, ed. 1:1-35.
- Gifford, R.M. 1977. Growth pattern, carbon dioxide exchange and dry weight distribution in wheat growing under differing photosynthetic environments. *Australian Journal of Plant Physiology* 4:99-110.
- Green, C.F. 1987. Genotypic influences on the growth of winter wheat in relation to absorbed solar radiation. *Field Crops Research.* (En prensa.)
- Hoogendoorn, J. 1985. The physiology of variation in the time of ear emergence among wheat varieties from different regions of the world. *Euphytica* 34:559-571.
- Hunt, L.A. 1979. Photoperiodic responses of winter wheats from different climatic regions. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 82:70-80.
- Jensen, N.F. 1978. Limits to growth in world food production. *Science* 201:317-320.

- Khan, M.A. y S. Tsunoda. 1970. Evolutionary trends in leaf photosynthesis and related leaf characters among cultivated wheat species and its wild relatives. *Japanese Journal of Breeding* 200:133-140.
- King, R.W., I.F. Wardlaw y L.T. Evans. 1967. Effect of assimilate utilization on photosynthetic rate in wheat. *Planta* 77:261-278.
- Krenzer, E.G. y D.N. Moss. 1975. Carbon dioxide enrichment effects upon yield and yield components in wheat. *Crop Science* 15:71-74.
- Kulshrestha, V.P. y H.K. Jain. 1982. Eighty years of wheat breeding in India: Past selection pressures and future prospects. *Zeitschrift für Pflanzenzüchtung* 89:19-30.
- Law, C.N. y R. Scarth. 1984. Genetics and its potential for understanding the action of light. *In: Light and the Flowering Process*, D. Vince-Prue, B. Thomas y K.E. Cockshull, eds. Academic Press, Nueva York, EUA. Pp.193-209.
- Leihner, D.E. y G.F. Ortiz. 1978. Improvement of durum wheat-plant type, yield potential, and adaptation. *Euphytica* 27:785-799.
- MacKey, J. 1979. Genetic potentials for improved yield. *In: Proceedings of the Workshop on Agricultural Potentiality Directed by Nutritional Needs*, S. Rajki, ed. Akad. Kiado, Budapest, Hungría. Pp.121-143.
- McRae, D.H. 1985. Advances in chemical hybridization. *Plant Breeding Reviews* 3:169-191.
- Medawar, P.B. 1972. *The Hope of Progress*. Methuen, Londres, Inglaterra. 133 pp.
- Rawson, H.M., R.M. Gifford y P.M. Bremner. 1976. Carbon dioxide exchange in relation to sink demand in wheat. *Planta* 132:19-23.
- Rawson, H.M., J.H. Hindmarsh, R.A. Fischer y Y.M. Stockman. 1983. Changes in leaf photosynthesis with plant ontogeny and relationships with yield per ear in wheat cultivars and 120 progeny. *Australian Journal of Plant Physiology* 10:503-514.
- Silvey, V. 1978. The contribution of new varieties to increasing cereal yield in England and Wales. *Journal of the National Institute of Agriculture and Botany* 14:367-384.
- Sofield, I., I.F. Wardlaw, L.T. Evans y S.Y. Zee. 1977. Nitrogen, phosphorus and water contents during grain development and maturation in wheat. *Australian Journal of Plant Physiology* 4:799-810.
- Syme, J.R. 1968. Ear emergence of Australian, Mexican and European wheats in relation to time of sowing and their response to vernalization and daylength. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 8:578-581.
- Van Dobben, W.H. 1962. Influence of temperature and light conditions on dry matter distribution, development rate, and yield in arable crops. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 10:377-389.
- Waddington, S.R., J.K. Ransom, M. Osmanzai y D.A. Saunders. 1986. Improvement in the yield potential of bread wheats adapted to Northwest Mexico. *Crop Science* 26:698-703.
- Waddington, S.R., M. Osmanzai, M. Yoshida y J.K. Ransom. 1987. The yield potential of durum wheats released in Mexico between 1960 and 1984. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. (Propuesta.)
- Woodruff, D.R. y J. Tonks. 1983. Relationship between time of anthesis and grain yield of wheat genotypes with differing developmental patterns. *Australian Journal of Agricultural Research* 34:1-11.



Comentarios

K.J. Frey

Universidad del Estado de Iowa, Ames, Iowa, EUA

Hoy mi tarea consiste en reiterar los aspectos más sobresalientes del trabajo del Dr. Evans y ahondar en ellos para promover entre ustedes, el público, la discusión del tema "Oportunidades de aumentar el potencial de rendimiento del trigo".

En ese trabajo se sintetiza una enorme cantidad de la información más reciente; de los 53 documentos citados, 44 se publicaron en los últimos 10 años, y dos terceras partes en los 80.

El Dr. Evans comienza destacando que "aún no hay señales de que nos acercamos al límite mayor del rendimiento en Estados Unidos o el Reino Unido", con lo cual yo estoy totalmente de acuerdo. Continúa diciendo que "también existen algunos que arguyen que aumentar los rendimientos bajos e inciertos de los ambientes adversos es más importante que incrementar aún más el potencial de rendimiento. Pero, incluso en los países desarrollados que cuentan con poderosos organismos para la investigación, sólo hemos conseguido un progreso lento en dichos ambientes". Quisiera disentir con este punto de vista y decir que se pueden proporcionar ejemplos de muchos casos en los que la inserción de uno o más genes ha hecho posible una producción respetable en un medio adverso. Por ejemplo, un gen para la tolerancia al exceso de aluminio en suelos ácidos que se introdujo en variedades brasileñas de trigo permite producir trigo en un millón o más de hectáreas de suelos ácidos en ese país. Un segundo ejemplo es el de ese Jardín del Edén de la producción de cultivos, llamado Iowa, donde un gen para la resistencia a la clorosis ferrosa, una vez introducido en variedades de soya con alto potencial de rendimiento, puede duplicar el rendimiento de la soya en un cuarto de millón de hectáreas de suelos alcalinos. Además, según un estudio

realizado por Johnson y sus colegas en Nebraska, EUA, se han logrado avances considerables en cuanto a aumentar el potencial de rendimiento de variedades de trigo para medios adversos de los Grandes Llanos de Estados Unidos. En realidad, el mejor argumento que sustenta los intentos de aumentar un alto potencial de rendimiento, es el hecho de que esas líneas, una vez adaptadas con genes para la resistencia a factores bióticos y abióticos y con genes para la regulación, serán, por lo general, las mejores líneas que se puedan cultivar en cualquier parte del mundo.

Y ante la sugerencia del Dr. Evans en el sentido de que "no es fácil desligar las contribuciones de la fitogenética y de la agronomía al aumento del rendimiento del trigo", estoy totalmente de acuerdo. (Sin embargo, esos estudios contribuyen a que los científicos jóvenes obtengan cargos permanentes y a mantener el flujo de subsidios para las instituciones dedicadas al mejoramiento). El Programa de Maíz del CIMMYT publicó en *Crop Science* (1986) un estudio que ilustra muy bien esta interacción. Se practicó una selección en masa para obtener la reducción de la altura en 15 generaciones de una población de maíz tropical de tierras bajas, llamada Tuxpeño Crema. La altura de la planta se redujo 1 m, pero durante el proceso cambiaron tanto su estructura y fisiología que la densidad óptima de siembra aumentó de 48,000 a 65,000 por hectárea. Sí, no se puede separar con facilidad la variedad de sus características agronómicas óptimas.

El Dr. Evans dice que existen cinco áreas que ofrecen la oportunidad de aumentar el potencial de rendimiento del trigo:

Crecimiento y fotosíntesis. Existe una escasez de variación genética en los cereales cultivados, incluyendo el trigo, ya sea en cuanto a tasa de crecimiento o

tasa de fotosíntesis. El Dr. Evans propone utilizar la ingeniería genética para lograr que rubisco, la enzima que limita la tasa de fotosíntesis, sea más eficaz. De acuerdo con lo que sabemos hasta el momento, dedicar fondos para alterar rubisco mediante la ingeniería genética equivale, en mi opinión, a apostarle a un viejo caballo de granja en una carrera de ejemplares de pura sangre. Sin embargo, quisiera llamar su atención hacia varias investigaciones sobre otras especies, que sí han afectado las tasas netas de crecimiento y fotosíntesis. Recurriendo a métodos genéticos en la selección para obtener mayor biomasa, Glenn Burton ha aumentado en 200% el rendimiento de forraje de gramíneas de temporada cálida. David Wilson ha incrementado en un 15% la producción de biomasa del ballico perenne mediante la selección para lograr una reducción de la respiración en la oscuridad.

Investigaciones sobre la avena y el mijo perlado han demostrado que, si bien no existe variación genética relacionada con la tasa de crecimiento dentro del complejo genético domesticado, se producen aumentos muy significativos de este carácter al utilizar germoplasma de variedades silvestres o malezas afines. En el caso de la avena, que ha sido el más estudiado, el aumento de la tasa de crecimiento se debe a una mayor superficie foliar por tallo y a un retraso de la senectud foliar, que finalmente aumentan en un 8% las semillas por panoja, un 12% el peso de las semillas y un 25% el rendimiento de granos. La introgresión de genes de variedades silvestres o malezas afines ha incrementado la biomasa del maíz y el rendimiento de semillas de sorgo, cebada y cacahuete, presumiblemente aumentando la tasa de crecimiento. Recomendaría a los fitogenetistas especializados en el trigo hacer más investigaciones en esta área.

Sincronización del ciclo reproductivo.

Probablemente uniré este tema al de los "procesos reguladores". Durante milenios, la naturaleza ha desarrollado


numerosos procesos genéticos eficaces causados por factores ambientales predecibles, fundamentalmente la luz, el fotoperíodo y la temperatura, que provocan la adaptación local de una especie. Sólo algunos de estos factores se han estudiado desde el punto de vista genético, pero, de acuerdo con ciertos informes, parece que los mecanismos impulsores son por lo general heredados. Si es así, será posible añadir a discreción estos caracteres a las variedades. Esta es un área de gran importancia, pero ¿contribuye al potencial de rendimiento del trigo en general o sólo al de líneas específicas y para medios específicos?

Durante milenios, la naturaleza ha desarrollado numerosos y eficaces procesos genéticos para que las especies se adapten localmente.

Modificaciones de la distribución de la biomasa.

La historia demuestra que, en el caso de la mayoría de nuestros cereales, el incremento del rendimiento gracias a la fitogenética se ha debido al aumento del índice de cosecha. La biomasa ha permanecido notablemente constante. Tengo mis reservas acerca de que los fitogenetistas puedan llegar mucho más allá del 50% y mantener plantas vigorosas. Sin embargo, tal vez con nuevas fuentes de germoplasma, los fitogenetistas especializados en cereales podrán aumentar aún más el índice de cosecha. Ciertamente, al reducir el crecimiento vegetativo, parte de la energía utilizada en el mantenimiento se ha orientado hacia el rendimiento de granos. Como carácter, el índice de cosecha es altamente heredable y fácil de recuperar. Sospecho que resultará sencillo lograr esa herencia cuando se lleven a cabo los estudios correspondientes.

Procesos reguladores. El Dr. Evans señaló la necesidad de manipular genéticamente los procesos reguladores



que determinan el tamaño y número de semillas, la duración del llenado de granos y el patrón de senectud foliar. Lo único que puedo decir al respecto es que se requiere un gran número de investigaciones en esta área.

Respuestas ambientales. Efectivamente, por medio de la genética se controla la respuesta de las variedades a los medios de producción. Ya que el agricultor no puede controlar la temperatura media, el ambiente y el fotoperíodo, y controla muy poco la cantidad e incidencia de humedad (excepto en zonas de agricultura de irrigación), el fitogenetista tiene que desarrollar variedades que se adapten al medio. Me pregunto si existen reacciones del crecimiento vegetativo o reproductivo del trigo causadas únicamente por la temperatura. Sin embargo, como sugiere el Dr. Evans, el aumento de CO₂ en la atmósfera mundial puede provocar profundos efectos sobre genotipos de cultivos que necesitaremos el próximo siglo.

El ensayo del Dr. Evans es lúcido, provoca la reflexión y agota la literatura relacionada con el tema que se le asignó. He intercalado los puntos que cuestionó y lo que agregaría en mi análisis de su trabajo.

No obstante, dedicaré unos minutos a expresar algunos conceptos y observaciones que he elaborado a lo largo de mis cuatro decenios como fitogenetista.

Durante la discusión de los genes del semenanismo del trigo y su interacción con los antecedentes genéticos, el Dr. Evans dijo: "El ajuste del contexto genético tiene sin duda un efecto

importante sobre la forma en que los genes Rht influyen en el potencial de rendimiento"; ésta es una forma de decir que "pocos genes trabajan solos". De esto se desprende que cada especie ha desarrollado varias estrategias genéticas y fisiológicas para afrontar una determinada imposición ambiental. Probablemente cada estrategia evolucionó en un espacio ecológico diferente. Si el fitogenetista conoce bien su germoplasma, podrá escoger entre las alternativas genéticas, pero casi nunca se dispone de esta información. Creo que mientras la mayoría de los métodos fitogenéticos se generan sistemáticamente sobre la base de datos experimentales, la mayoría de los genes y fenómenos genéticos útiles para el mejoramiento han sido descubiertos por casualidad.

El germoplasma es la clave del éxito del fitogenetista. Durante los cuatro últimos decenios, el CIMMYT y, antes, el programa de la Fundación Rockefeller, han llevado a cabo los importantes experimentos que prueban esa afirmación. Admito que el CIMMYT ha contado con científicos capacitados y recursos inmensos, pero más que nada, ha tenido a su disposición y ha utilizado germoplasma de trigo proveniente de todo el mundo. En el complejo genético de trigo del CIMMYT se ha efectuado la introgresión de todas las líneas que dieron buenos resultados en alguna parte del mundo. Se utilizaron estas líneas en cruzamientos simples y luego se cruzaron las F₁ con otras F₁: se observaron millones de poblaciones segregantes, pero sólo se conservaron aquellas que eran sobresalientes. Sí, CIMMYT, tu gran experimento ha sido todo un éxito: el germoplasma es la clave.

La agronomía en la producción: Problemas y mejoramiento

C. Charreau y G. Rouanet

**Instituto de Investigación Agrícola Tropical/Centro de Cooperación Internacional
en la Investigación Agrícola para el Desarrollo, Francia**

En medio de una rápida explosión demográfica, durante la última década, el crecimiento anual de la producción agrícola de los países en desarrollo fue poco mayor del 3% en América Latina y en Asia, y solamente del 1.4% en África. Aun tomando en cuenta los años de sequía excepcional que ha sufrido este continente, las perspectivas son poco halagüenas. África Occidental exportaba a principios de la década de los 60 un millón de toneladas de productos agrícolas (principalmente cacahuate), pero registró un déficit durante la década de los 70 e importó en el bienio 1983/84 un millón y medio de toneladas de productos agrícolas que podrían convertirse—si extrapolamos según las tendencias actuales—en varias decenas de millones de toneladas en sólo 25 años.

Esta situación de la producción agrícola, particularmente grave en ciertos países, aunque no en todos, es un verdadero reto si se tiene en cuenta la desfavorable situación económica que atraviesan: un desequilibrio creciente de la balanza comercial, contracción del ahorro interno, debilitación o deterioro de la infraestructura existente, excesiva urbanización y crecimiento de un sector terciario poco productivo y en una situación privilegiada si se le compara con el campo (que tiende a despoblarse) y que impone a los agricultores—cuya importancia decrece respecto a la población total—la carga de producir aún más.

La experiencia asiática, de donde parte la revolución verde de los años 70, muestra claramente, como lo menciona el Doctor Swaminathan que el progreso agronómico presupone que se cumplan simultáneamente varias condiciones: dicho progreso podría incluso ser rápido

“siempre que se desarrollen y se pongan en práctica en forma coordinada un conjunto de tecnologías, servicios y políticas gubernamentales”. En un sentido amplio, el mejoramiento de las técnicas agronómicas, como el fitomejoramiento, no puede considerarse independiente de los otros ingredientes de la intensificación agrícola, sean éstos de carácter económico o político. Esto debe considerarse cuando se evalúan las limitaciones de los sistemas de producción existentes y se definen los ejes prioritarios de la investigación de innovaciones o cuando se propician la puesta en práctica y la difusión de técnicas más avanzadas.

Siguiendo esa línea, la reflexión sobre la problemática agronómica de la producción en las zonas tropicales no deja de ser deseable, en un momento en que hay quienes se preguntan si el estancamiento de la producción en ciertos países no podría deberse, por una parte, a la insuficiencia de modelos tecnológicos nuevos, o a la inadaptación de los modelos propuestos a las condiciones reales de los productores. Es altamente satisfactorio que este tipo de intercambios tengan lugar en el seno del CIMMYT, instituto que ha aportado en las dos últimas décadas una brillante contribución al mejoramiento del cultivo del trigo y del maíz en las zonas tropicales.

Limitaciones agronómicas

Limitaciones generales vinculadas al medio ambiente natural

Cualquiera que sea el sistema de producción, la agricultura que se practica en los trópicos afronta una serie de limitaciones básicas vinculadas al medio ambiente natural. Veámoslas brevemente.

Limitaciones vinculadas a los suelos.

Además de los suelos volcánicos de origen reciente, en zonas altas, y de ciertos suelos aluviales, la mayoría de los suelos tropicales tienen características que implican limitaciones evidentes - aunque variables, dependiendo de la ubicación y de los cultivos - para el crecimiento de las plantas. Entre ellas figuran la poca capacidad de intercambio, la deficiencia en elementos y sales importantes (P_2O_5 , K) y la excesiva acidez en algunos lugares; el bajo contenido de materia orgánica y la liberación insuficiente de nitrógeno mineral; una estructura defectuosa y la alta compactación de los suelos, que impiden la penetración profunda de las raíces y la infiltración del agua. Gran parte del agua se pierde por escurrimiento y favorece la erosión, aun en zonas de poca precipitación pluvial.

Los trabajos realizados por IRAT en Sefa en Casamance, Senegal, durante los años 1965-70, nos permiten demostrar que el escurrimiento y la erosión - no muy importantes cuando hay una cubierta forestal natural - aumentan en forma drástica en la época del barbecho y, sobre todo, durante la temporada del primer cultivo (cuadro 1).

Cuadro 1. Escurrimiento, infiltración y erosión del suelo, Sefa, Senegal, 1965-70.

Tipo de suelo	Coeficiente de:		
	Escurrimiento (%)	Infiltración (%)	Erosión Anual (t/ha)
Zonas forestales	1.0	99.0	0.2
Barbecho	16.6	83.4	4.9
Cultivos	21.2	78.8	7.3
Suelo desnudo	39.5	60.5	21.3

A estas características generales, podríamos agregar la poca capacidad de retención de los suelos arenosos, en la zona de Sudán-Sahel, que agrava las irregularidades climáticas y la saturación frecuente de suelos arcillosos en zonas de excesiva precipitación pluvial,

particularmente perjudicial para el maíz y la mayoría de los cultivos, con excepción del arroz.

Limitaciones vinculadas al clima y al medio ambiente biológico.

Estas limitaciones incluyen la escasa radiación solar en zonas forestales, que coarta los rendimientos potenciales de los cultivos que requieren luz natural (ejemplo: el maíz); la agresividad de las precipitaciones (escurrimiento, erosión), aun en zonas con pocas lluvias; el exceso de agua para las necesidades de los cultivos en zonas forestales y a veces en zonas altas o en sabanas; el crecimiento rápido y agresivo de la maleza, particularmente en zonas de sabanas y en condiciones de cultivo intensivo (con preparación del suelo y abono), y el parasitismo (hongos, virus, insectos) durante el cultivo y después de la cosecha, sobre todo en zonas forestales.

Limitaciones agronómicas vinculadas a los sistemas de cultivo y producción

Las limitaciones agronómicas están determinadas por una variedad de factores, de diferente importancia según la región, de las que veremos algunos ejemplos.

El encuadre agroecológico de la producción.

Es raro que un cultivo se practique sin un encuadre agroecológico en una estación precisa. Retomando el ejemplo del trigo y del maíz, se ha constatado lo siguiente:

- En el caso del maíz, su cultivo se practica en zonas intertropicales durante la estación de lluvias o fuera de estación, con irrigación en climas con una sola temporada de lluvias, como en Burkina Faso; en cada estación lluviosa breve en regiones de pluviosidad bimodal (Congo, Camerún del Sur), y a diversas altitudes, desde la zona baja (forestal o sabana) hasta más de 2,000 metros de altitud (Ruanda y la zona andina).
- En el caso del trigo, la gama de situaciones en zonas intertropicales, si bien es más reducida, comprende

desde el cultivo en la estación seca y fría, con irrigación (Sahel), hasta el cultivo de temporal al final de la estación de lluvias en zonas altas (Africa Oriental), con situaciones intermedias en las que la irrigación interviene sólo de manera complementaria a la lluvia (Madagascar).

Es evidente que las limitaciones agroecológicas y su jerarquización difieren mucho en cada situación.

El tipo de explotación y el destino de los productos. Contrariamente a lo que sucede con los cultivos industriales (hevea, caña de azúcar), numerosos cultivos se practican en los trópicos dentro de esquemas de explotación bien diferenciados, tanto en su tamaño como en sus capacidades tecnológicas y financieras. Es por eso que en Africa, algunos autores distinguen - con el ánimo de hacer una aclaración más pragmática que científica - tres grandes grupos de agricultores.

El grupo-objetivo 1, a menudo muy importante, está constituido por campesinos sin supervisión, poco especializados, cuya producción es en general manual y se destina principalmente al autoconsumo. Se trata de productores con poco acceso a insumos y a créditos. El grupo-objetivo 2 está constituido por campesinos mejor orientados, que a menudo participan en proyectos de desarrollo y son más abiertos a las innovaciones. Su producción, apoyada en un uso limitado de insumos, se destina tanto al autoconsumo como al mercado local. Este grupo de productores puede tener acceso al crédito agrícola y algunas veces al crédito para la compra de equipo (particularmente de tracción animal). El grupo-objetivo 3 comprende a sociedades públicas y privadas, y a menudo las cooperativas, que practican una producción intensiva, muchas veces mecanizada, para aprovisionar a las ciudades o a las agroindustrias. Este tipo de producción, en rápido desarrollo en ciertos países tropicales, dispone de capital y de supervisión técnica para

aplicar las nuevas tecnologías que tiene a su disposición. Aquí también, vemos claramente que la importancia y la jerarquía de las limitaciones son diferentes, según el grupo de que se trate.


Limitaciones vinculadas al medio ambiente general, económico, social o político

Existen otros factores de índole sociopolítica muy variados que interfieren de distintas maneras en la producción agronómica y en las técnicas realmente implantadas por los agricultores. Los siguientes ejemplos son de particular interés.

Las costumbres y la tradición a menudo influyen en las prácticas agrícolas más que los conceptos de la ventaja comparativa o el análisis de costo y beneficio.

La existencia de mercados y medios de comercialización. Se ha comprobado que la existencia de mercados es un factor decisivo en la selección de prácticas agronómicas y en la jerarquía de las limitaciones de los productores. Es evidente que en ausencia de mercados organizados, políticas de precios y créditos, las tecnologías basadas en endeudamiento a mediano plazo, o incluso basadas en la adquisición de insumos, son poco atractivas. En todo caso, el nivel de rendimiento no es un factor primordial en la agricultura autosuficiente.

La disponibilidad de tierras. La experiencia demuestra asimismo que, en Africa, los productores se aferran a prácticas extensivas, basadas en el cultivo errante con pocos insumos, siempre que la densidad de la población con respecto a la disponibilidad de tierras lo permita. Por el contrario, en las regiones donde la presión demográfica rural sobrepasa cierto umbral (Plateau Mosi, en Burkina Faso), ocurren cambios espontáneos en las prácticas



agronómicas que apuntan a la intensificación, basada frecuentemente en una asociación más estrecha entre la agricultura y la ganadería, aunque no siempre se da este caso (Bamileké, en Camerún).

Sería ilógico pensar que en el futuro las innovaciones se puedan hacer realidad sin la participación activa de los agricultores.

El concepto de trabajo agrícola y la tradición. Numerosas investigaciones de geógrafos y de sociólogos han puesto de manifiesto que, particularmente en Africa, la selección de prácticas agronómicas está influenciada por los hábitos heredados de la tradición, más que por conceptos económicos cimentados sobre las ventajas comparativas o sobre el análisis de costo/beneficio. En tales casos, la estructura de los trabajos agrícolas se encuadra dentro de un modo de vida global que no asigna la prioridad necesaria a los trabajos agrícolas, ni siquiera en períodos pico, y que rechaza las innovaciones (por ejemplo, el cultivo doble), que pueden trastornarla.

La ayuda externa en el suministro de alimentos. Es innegable la utilidad de la ayuda alimentaria proveniente de las naciones industrializadas cuando el pueblo padece hambre. No obstante, en muchos casos puede tener un efecto negativo y frenar el desarrollo de la producción nacional, sobre todo cuando promueve productos que entran en competencia directa con los productos locales (cereales, leche) o que favorecen cambios en la dieta (consumo creciente de trigo importado) en detrimento del consumo de productos locales que pierden participación en el mercado. En estos casos, se observa una falta de estímulo en los productores, con graves consecuencias sobre la dinámica de la producción y su intensificación.

Las limitaciones de la vida rural en los trópicos. Aun en zonas que son objeto de proyectos de desarrollo integrado, las condiciones de la vida rural en los trópicos no dejan de ser precarias, y tienden a deteriorarse bajo la presión de los azares climáticos o del crecimiento demográfico. El deterioro del medio cultural tradicional no ha sido compensado, como en los países templados, por una buena infraestructura (electricidad, carreteras, escuelas, hospitales, comercios) que facilitan el trabajo de los agricultores. Las consecuencias de este estado de cosas (envejecimiento de la población rural, éxodo a las ciudades, etc.) son considerables en algunas regiones y condicionan en gran medida las acciones que los productores toman para solucionar eficazmente los problemas agronómicos y la puesta en práctica de esas soluciones.

Consideraciones técnicas

Generalidades

El agrónomo en la encrucijada de la innovación. La revisión que se incluye de la complejidad y de la diversidad de situaciones agronómicas es testigo de la difícil tarea del agrónomo, que debe encontrar respuestas a preguntas particularmente inquietantes, como por ejemplo: cómo encarar la problemática real de los productores, sin perder de vista su extrema diversidad, por un lado, y sin caer en generalizaciones precipitadas que pueden deformar las jerarquías individuales de los problemas, por el otro. Deben efectuar un análisis de las limitaciones, lo más apegado a las prioridades del agricultor, es decir, incluyendo ciertos aspectos sociales o políticos a veces primordiales, para no elaborar un diagnóstico inadecuado. Deben tomar en cuenta, al elaborar experimentalmente esquemas nuevos, ciertas limitaciones generales y de carácter económico que condicionan su validez. Deben garantizar que el análisis del agrónomo sea realmente objetivo y no esté deformado por sus propias preocupaciones.

Diversos autores, agrónomos y economistas, particularmente del CIMMYT y del CIRAD, y especialistas en ciencias humanas han aportado en las dos últimas décadas algunas aclaraciones a estas preguntas, y en varias ocasiones han propuesto metodologías con éxito, apoyándose en métodos cada vez más rigurosos. A pesar de todo, la agronomía sigue siendo tanto arte como ciencia, y el conocimiento científico y la lucidez de sus análisis no pueden prescindir de cierto empirismo al abordar los problemas de los productores, recurriendo a la intuición y a la experiencia en la apreciación global de las diferentes situaciones.

Tradiciones heredadas. El cambio tecnológico en este campo se ha debido básicamente a los mismos agricultores hasta hace pocos años, y sería ilusorio pensar que en el futuro las innovaciones se puedan hacer realidad sin su participación activa en el desarrollo de las nuevas tecnologías. Numerosos "fracasos" en las dos últimas décadas merecen ser examinados desde este ángulo por los profesionales de la investigación y el desarrollo. Por lo mismo, es imperativo evitar las tan frecuentes combinaciones que asimilan la investigación y la innovación y reducen el papel de los agricultores a meros ejecutantes. Aunque nos resulte extraño, numerosas innovaciones tecnológicas son implantadas, incluso en la actualidad, espontáneamente por las comunidades rurales, sin que dichos cambios hayan pasado nunca por los canales de la investigación y el desarrollo.

El agricultor de temporal de los países en desarrollo se basa mucho, aun en 1985, en técnicas inventadas por la tradición y que están lejos de desaparecer, a pesar de su falta de adaptación a la situación actual, y sobre todo, a la futura:


- el principio del barbecho prolongado, que permite recuperar la fertilidad inicial;

- la quema razonable, que permite trabajar con el arado y pone a disposición de las plantas los recursos acumulados de la biomasa;
- el uso de fertilización orgánica, principalmente estiércol;
- el uso de implementos agrícolas o postagrícolas, sobre todo de madera, (con base en una utilización racional del medio ambiente);
- la aplicación de técnicas para conservar el paisaje natural y para luchar contra la erosión en diversas regiones de la India o África: Dogon, en Malí, o en los Montes de Mandara, Camerún;
- se deben señalar numerosas técnicas de cultivo tradicionales basadas en rotaciones o en asociaciones racionales; y por último,
- las tecnologías agroforestales.

Veamos un ejemplo ilustrativo de este tipo de sistemas: el del cultivo fuera de estación del sorgo transplantado a los suelos (vertisoles) del norte de Camerún, caracterizado por la diversificación de ecotipos, la notable adaptabilidad de las plantas a un medio agrícola difícil, la economía (en agua, en trabajo) de las técnicas utilizadas, que resulta difícil de mejorar aun en la época actual.

A pesar de todo, la mayoría de las técnicas aquí descritas, basadas únicamente en la fuerza del hombre, en el medio ambiente natural y en un esquema de autosuficiencia, no pueden afrontar el reto del rápido crecimiento y de las nuevas necesidades alimentarias. Esto no quiere decir que las técnicas derivadas de la tradición deban considerarse como reliquias de un pasado remoto; por el contrario, merecen toda nuestra atención, en un momento en que están bajo consideración las tecnologías con pocos insumos, en que se trata de hacer un uso eficiente y diversificado del medio ambiente y de dar un nuevo impulso a la adopción de las técnicas de los campesinos.

Resultados de las investigaciones. Ciertas innovaciones fomentan directamente el mejoramiento de la



producción y productividad (mejor rendimiento por hectáreas, mejor calidad de los productos, reducción de horas de trabajo, etc). El objetivo de la difusión incluyen a los productores (campesinos, cooperativas, proyectos de desarrollo) y la parcela, la explotación, el terreno o la región. Las investigaciones que sustentan estas innovaciones dependen, en general, de la investigación aplicada y de la investigación de adaptación.

Otros trabajos de investigación tienen un carácter de apoyo, a menudo temático, y tratan de explicar los mecanismos fisiológicos de las plantas, la dinámica de la fertilidad de los suelos, y la biología de los depredadores. Este avance del conocimiento aporta herramientas y métodos valiosos que contribuyen al surgimiento de nuevas tecnologías. Este tipo de investigaciones tiene un carácter estratégico y depende de la investigación básica.

Por último, hay otras investigaciones que consisten en métodos y técnicas útiles para el diagnóstico de situaciones, para la evolución y el seguimiento de las innovaciones y de la producción. Estos métodos interesan a los productores, los encargados de la toma de decisiones y a los investigadores. En las siguientes páginas, se examinan trabajos de esta índole.

Herramientas y métodos de la investigación de desarrollo

Herramientas de diagnóstico y seguimiento. A nivel regional, diversos geógrafos e investigadores han tratado—a partir de métodos cartográficos—de proporcionar a los encargados de la toma de decisiones y del desarrollo, instrumentos operativos de diagnóstico y seguimiento. En los mapas climáticos y pedagógicos clásicos se han incluido numerosos trabajos de cartografía aplicada, mapas para evaluar las limitaciones, mapas de potencialidad, etc.

Sería conveniente citar algunas herramientas utilizadas, especialmente en el CIRAD, que se encuadran dentro de este contexto. Basada en los aspectos

climáticos y pedagógicos y en la técnica de la cartografía, la zonificación agroclimática subdivide un país o una región donde se cultiva un producto dado, en zonas homogéneas con potencialidades crecientes. Se trata de un trabajo que es de interés para investigadores, agentes de extensión y encargados de la toma de decisiones. El uso de imágenes numéricas emitidas por satélites (Landsat, Spot a partir de este año) ha abierto nuevas perspectivas.

Recientemente, el CIRAD ha emprendido un análisis global de la zona del Sahel con base en el concepto de la mesorregión. Se trata de un intento por subdividir los países en un cierto número de regiones homogéneas en función de tres criterios principales: los sistemas de producción, la tasa de ocupación de los suelos y la precipitación pluvial anual.

Este trabajo para la zona del Sahel ha identificado 11 "mesorregiones" que se extienden de un país a otro. Veamos dos ejemplos de su aplicación: (1) la implantación de innovaciones en un país puede extrapolarse fácilmente en zonas de otros países que pertenezcan a la misma mesorregión y (2) dentro de un mismo país, el análisis de prioridades puede hacerse por mesorregiones y así ayudar a una organización racional de los esfuerzos de investigación y desarrollo.

Existen numerosos métodos de estudios a nivel de explotación o de la parcela que permiten obtener, analizar y comparar factores reales o experimentales, como son los métodos clásicos de análisis de suelos, de raíces y de hojas (diagnósticos foliares), y los estudios agronómicos a nivel de la parcela o de la explotación. En este terreno, la informática nos permite aprovechar mejor un sinnúmero de observaciones bien cuantificadas.

No podemos dejar de incluir el ejemplo de un método reciente desarrollado en torno al balance hidráulico. A partir de trabajos efectuados en diversas instituciones (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Instituto Francés

para la Investigación Científica y Tecnológica (ORSTOM), Comisión Interestatal de Estudios Hidráulicos (CIEH), Meteorología e Hidrología Agrícola (AGRHYMET), Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT), Universidad de Texas) se han implantado sistemas computarizados de evaluación del balance hidráulico utilizables a nivel de la explotación. Citamos, por ejemplo, el reciente software BIP implantado por el CIRAD para simular el balance hidráulico de los cultivos pluviales en la región tropical seca, basada en un cálculo de la demanda evaporativa, el requerimiento de agua de los recursos pluviales. El balance hidráulico también toma en cuenta las características principales de los suelos y el sistema de cultivo (profundidad de las raíces).

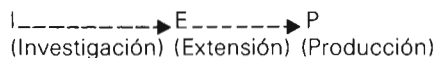
Este instrumento, que todavía debe perfeccionarse, tiene ya las siguientes aplicaciones:

- explicar los rendimientos obtenidos, en la estación experimental o en el campo, y evaluar el mejoramiento logrado (en las plantas o en el suelo),
- predecir rendimientos potenciales en función de hipótesis pluviométricas, informes agrometeorológicos y manejo de riego,
- definir las especies, variedades o ciclos de cultivos posibles,
- evaluar la conveniencia de un equipo de irrigación complementario para un tipo de cultivo dado (riesgo climático). Este método de simulación se utiliza en Brasil, por ejemplo, en la zonificación pedológica de las tierras adecuadas al cultivo de arroz de zonas altas.

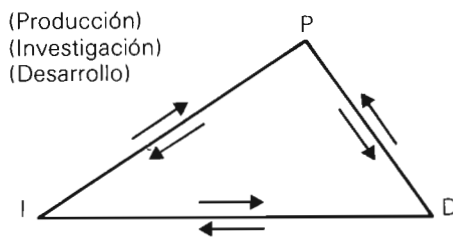
Los métodos de desarrollo experimental. Presentamos un esquema del desarrollo de la agronomía tropical, particularmente en África, hasta la década de los 60: (1) las prioridades del trabajo de investigación estaban básicamente definidas por las autoridades políticas y los investigadores, (2) la mayor parte del trabajo de investigación se realizaba en estaciones experimentales y puestos exteriores de observación, para tomar en cuenta la variabilidad pedoclimática, y (3) los

resultados de las investigaciones se transmitían al servicio oficial de extensión o a los responsables de los proyectos de desarrollo, con una doble función: identificar y adaptar las innovaciones a la microrregión y tratar de que estos resultados fueran aplicados por los agricultores pertinentes.

Sería erróneo negar que estos métodos, por lo demás muy variados, han proporcionado resultados a veces brillantes. Sin embargo, los fracasos observados nos llevan a reconsiderar este enfoque que se apoya particularmente en las metodologías derivadas de las ciencias humanas. Es por ello que durante la década de los años 70, hemos visto una sustitución cada vez más marcada del esquema tradicional, representado como:



por nuevos enfoques que integran, cada vez más, las partes involucradas, tanto a nivel de diagnóstico y programación de investigaciones, como en la etapa de implantación de las innovaciones. El nuevo esquema se representaría así:



Todos los enfoques nuevos implantados desde la década de los años 70 apuntan a reconciliar la investigación "río arriba", tradicionalmente la favorita de los investigadores, con la investigación de desarrollo "río abajo", más próxima a las preocupaciones de los productores. Esto comprende las siguientes fases:

- un diagnóstico final de la explotación que incluya los cultivos principales y, a veces, el sistema agrario, a fin de jerarquizar las limitaciones que afrontan los productores;

- el establecimiento de encuadres técnicos que respondan a dicha problemática, con base en la investigación en campos y atendiendo a las demandas de investigaciones más fundamentales de las estaciones centrales, y
- el seguimiento y evaluación de los procesos de adopción y de desarrollo. Son numerosos los trabajos emprendidos por el CIRAD en África o por el CIMMYT en América Central, que ilustran estos nuevos métodos.

Experiencias tecnológicas

Las plantas y la agronomía. Adaptar las plantas al medio ambiente es una manera de intentar resolver las limitaciones que éste impone: esto se verifica en la selección de una especie sobre otra, en función de las características agroclimáticas.

El mejoramiento de las variedades no es una solución milagrosa para intensificar la producción agrícola en zonas tropicales.

Dentro de una misma especie, como el maíz, se ha intentado este procedimiento desde hace siglos, particularmente por medio de la "selección masal" para obtener ecotipos que sean a la vez germoplasma irremplazable y ejemplos notables de la adaptación de las plantas a los microambientes o a las técnicas.

Durante las últimas décadas, el mejoramiento genético ha producido resultados espectaculares a nivel de la eficiencia cuantitativa y cualitativa de las variedades de trigo o de maíz, particularmente gracias a los trabajos del CIMMYT, y también a nivel de la adaptación de las plantas por medio de variedades resistentes a las limitaciones del medio ambiente (enfermedades endémicas, como la roya, la helmintosporosis, virus, etc.)

Existen otros trabajos que tratan de reforzar la resistencia de estas variedades a los insectos, sobre todo al gusano barrenador de Striga (en el maíz) o que tratan de encontrar variedades tolerantes de la acidez de los suelos tropicales.

Los avances de la genética contribuyen a ampliar el espacio ecológico: las variedades de maíz de ciclo corto permiten cultivos en lugares donde hubieran sido imposibles sin esta adaptación genética. Las variedades de trigo o de triticales se adaptan cada vez más a altitudes intermedias o a una precipitación pluvial mayor, o bien a temperaturas más elevadas. También permiten visualizar nuevos sistemas de cultivo, como el doble cultivo anual en ciclos cortos (maíz-caupí o maíz-algodón). Además presentan nuevas exigencias a nivel de técnicas de cultivo que tratan de modificar: la necesidad de acrecentar la fertilización para obtener realmente los altos rendimientos que permiten las nuevas variedades y la necesidad de suprimir otras limitaciones agronómicas cuando sea posible: más protección de las semillas contra las malezas, irrigación complementaria, etc.

Por consiguiente, sería una falacia considerar al mejoramiento de las variedades como la solución milagrosa para intensificar la producción agrícola en zonas tropicales. Sin embargo, el potencial actual de las variedades utilizadas, tradicionales o no, es muy superior a los rendimientos que obtienen los agricultores en general, y por lo mismo, rara vez constituye un factor limitante de importancia. Por ejemplo, debemos recordar que la revolución verde de los años 70 es en primer lugar el fruto del perfeccionamiento de las prácticas de cultivo en zonas beneficiadas por redes de irrigación, en la India; y como lo señala el Dr. Swaminathan, la introducción generalizada de variedades de alto rendimiento se llevó a cabo más tarde.

Por otra parte, desde hace mucho se cuestiona la validez de las variedades de alto rendimiento para medios agronómicos difíciles. Ciertos

investigadores—en honor a la verdad, cada vez menos—sostienen que es difícil cultivar materiales que tengan un rendimiento tan bueno en medios favorables como en medios desfavorables. Numerosos trabajos del CIMMYT, particularmente sobre el trigo, demuestran que es posible lograr este objetivo ambicioso, como se comprueba en la comparación de resultados obtenidos en un gran número de años y de lugares, en los ensayos ISWYN para variedades tales como Nacozari o Veery "S".

Esto no siempre es el caso, como podemos apreciar. Por ejemplo, en la investigación en campos, emprendida en el sur de Costa de Marfil por la CIDT en 1975, la variedad Tuxpeño resultó muy superior a la variedad local mejorada (CJB) cuando el suelo recibía una preparación suficiente (con tractores o con tracción animal). Sin embargo, como en esta zona la preparación es tradicionalmente manual, el rendimiento es inferior.

A pesar de todo, en muchos casos se observó que las prácticas agronómicas óptimas, cuando se pueden aplicar, permiten elevar la superioridad de las variedades de alto rendimiento sobre las variedades locales, (2) la eficiencia de otros insumos (particularmente el nitrógeno) y su rentabilidad aumenta con las variedades de alto rendimiento, y (3) aun en condiciones difíciles, es posible crear técnicas de cultivo con pocos insumos, que permitirían aprovechar al máximo las variedades mejoradas.

El agua y el suelo. *En zonas áridas y semiáridas* hemos visto la acción, a veces catastrófica, de las lluvias sobre el suelo desnudo o sobre el suelo cultivado, y el alto porcentaje de escurrimiento que contribuye a sustraer agua de los cultivos y al mismo tiempo a dañar el medio ambiente por efecto de la erosión. Veremos algunos ejemplos de técnicas implantadas para corregir esta situación.


Existen diversas técnicas de corrección antierosiva a nivel de la parcela o de la región que han sido muy poco

difundidas. Entre ellas figuran la protección de zonas sobreexplotadas para el pastoreo o para la tala, conscientización de los daños provocados por la quema, técnicas de lucha contra la erosión eólica mediante la plantación de barreras vivas, y técnicas de protección de vertientes.

Aunque estas técnicas son conocidas y su dificultad principal consiste en una implantación eficaz, hay muchas preguntas que las investigaciones tratan de responder con el objeto de proponer las soluciones más eficientes y económicas, que las personas interesadas puedan aplicar directamente. Debemos hacer mención especial de los trabajos realizados por el ICRISAT en la India, para construir surcos en el perfil con la ayuda de "simuladores móviles" que permiten identificar la reacción de los suelos ante la agresividad de las lluvias.

El almacenamiento del agua en la parcela cultivada y la lucha contra el escurrimiento se encuentran entre las técnicas generales antierosivas antes descritas. Los métodos consisten, según el caso, en cultivos escalonados, con o sin bordos de contención, en el establecimiento de banquetas plantadas de hierba, o en terrazas. Estos métodos bien conocidos, pero que pueden perfeccionarse, están lejos de implantarse con la frecuencia que sería deseable. Por ejemplo, la protección basada en el aplanamiento de terrazas y en la instalación de drenaje en las áreas bajas ha aportado incrementos medios en el rendimiento del 21%, en comparación con un sistema simple de terrazas en desniveles, según informes del ICRISAT.

Otras técnicas, también implantadas de manera insuficiente, han demostrado su utilidad para almacenar agua en el suelo y limitar el escurrimiento o la evaporación. Algunas de éstas son (1) el trabajo del suelo o subsuelo que favorece la permeabilidad y la capacidad de almacenamiento, (2) el desyerbo restablece la permeabilidad, reducida por efecto de la compactación o la lluvia, (3)



la labranza al final del ciclo, que permite en ciertos casos transferir parte del agua del ciclo precedente al ciclo siguiente, (4) "mulching" (reincorporación de los residuos de la cosecha) con labranza cero, y (5) separación de los surcos de cultivo.

Los trabajos emprendidos en Kamboinsé (Burkina Faso) demuestran que el efecto de los bordos, asociado a la separación de surcos pueden permitir, en algunos casos y según la secuencia topográfica, duplicar los rendimientos de un cultivo de maíz.

En zonas forestales y de sabana húmeda, se ha comprobado el peligro de las prácticas agrícolas basadas en las técnicas de los países templados.

Numerosos trabajos sobre el *manejo de agua* ameritan atención: tomaremos el ejemplo del balance hidráulico, antes mencionado, para demostrar sus posibilidades de utilización: (1) información agrícola; previsión de déficits, (2) economía substancial de las cantidades de agua aportadas en los perímetros irrigados para evitar los múltiples inconvenientes vinculados a irrigaciones mal controladas y ampliar las superficies irrigables, y (3) cuando existen recursos hidráulicos, pero en escasa cantidad, la posibilidad de practicar irrigaciones complementarias para reducir los graves efectos de un período de sequía durante la temporada de cultivo.

En 1984, en un perímetro asesorado por el CIRAD en Lossa, Níger, se demostró que 80 mm de agua aplicados en el momento oportuno a un cultivo de sorgo permitió obtener 6,000 kg de grano por hectárea, comparado con 600 kg/ha en los campos que no recibieron irrigación adicional.

En zonas forestales y de sabana húmeda, donde las lluvias exceden la evaporación y transpiración durante la mayor parte del año, se ha comprobado el peligro de las prácticas agrícolas basadas en las técnicas habituales de los países templados. Se estima en dos millones de hectáreas¹ la superficie desmontada anualmente en zonas tropicales, en condiciones que exponen los suelos a grandes riesgos de erosión, mientras que los métodos de deforestación selectiva evitan este ataque agresivo y minimizan considerablemente los riesgos. Se trata, en efecto, de suelos evolucionados, de estructura frágil que se mantienen estables bajo la poderosa cubierta vegetal que los protege.

El desmonte, sobre todo para el cultivo de plantas anuales, tiene como consecuencia principal la exposición del suelo a la agresión de las lluvias. Por otra parte, la labranza, cuando se hace con maquinaria pesada, compacta el terreno y reduce su permeabilidad, favoreciendo el escurrimiento y la erosión superficial.

La activación de los mecanismos de mineralización después del cultivo resulta en un rápido empobrecimiento del suelo en materia orgánica y a menudo, por efecto de los cultivos mismos y de ciertos abonos minerales, en un aumento de la acidez del suelo.

Es por eso que se han implantado numerosos métodos de cultivo basados en la labranza mínima y en el "mulching". Este mecanismo se ha desarrollado particularmente en el IITA, que trata de resolver el inquietante problema del cultivo permanente de plantas anuales en zonas húmedas.

En otros casos, como en Gabón o en el centro de Brasil, en agriculturas muy mecanizadas se buscan soluciones eficaces con la disposición en terrazas, para permitir una absorción total. A fin de proteger el suelo, la reducción al mínimo de las prácticas de cultivo puede evitar la compactación, y debe promover

el uso de arados de reja y dientes en lugar de arados de discos. La incorporación al suelo de los tallos de maíz desmenuzados en un molino puede proteger el suelo desde la cosecha hasta la siembra de la soya. El cultivo intercalado en zonas húmedas es una respuesta tradicional al deterioro de los suelos, y lo mismo puede decirse de los cultivos asociados. En este capítulo aparecen varios ejemplos de los numerosos trabajos y modelos implantados durante los últimos años.

Mantenimiento de la fertilidad mineral y orgánica. Corregir las carencias, mantener la fertilidad y elevarla, sin incurrir en demasiados riesgos para el agricultor, es el reto de las innovaciones propuestas en este campo. El precio creciente de los insumos obliga a apoyarse lo más posible en los recursos propios del agrosistema o en las fuentes regionales de fertilización.

Diversos estudios realizados sobre el balance mineral de las zonas intertropicales han demostrado que el mantenimiento de la fertilidad de los suelos en zonas áridas y semiáridas está en gran medida condicionado por el mejoramiento del contenido de materia orgánica y nitrógeno, que a veces corrige una débil reserva de fosfatos y potasio, y finalmente por la restitución de las pérdidas de calcio y magnesio.

En zonas tropicales húmedas, la acidez del suelo y la deficiencia de fosfatos constituyen limitaciones adicionales en los suelos ferrolíticos. Como en los casos anteriores, el cultivo y la labranza aceleran los fenómenos de mineralización y generan a corto plazo el problema de la estructura orgánica y contenido de nitrógeno.

Este es un esquema breve del uso de *fertilizantes* durante las dos últimas décadas: (1) evaluación de las necesidades debidas al crecimiento y a la remoción de minerales, evidentemente, ambas funciones de rendimientos reales y del tipo de remoción (solamente el grano o la planta entera); (2) evaluación (en almácgos o en el campo) de las

deficiencias y de su jerarquización, lo que suscitó durante los años 60, la idea de una fertilización inicial masiva; (3) evaluación de la fertilización de mantenimiento que permite, tomando en cuenta la absorción y la lixiviación de elementos, mantener la fertilidad química del suelo, dentro del esquema de las rotaciones practicadas, y (4) la elaboración de un sistema de fertilización que se pueda difundir fácilmente es una tarea más complicada.

Debe tenerse en cuenta el aspecto económico porque algunos fertilizantes y mejoras requieren una cierta inversión, en vista de su acción a mediano plazo.

Es necesario buscar las fórmulas más económicas y las de mayor disponibilidad y de más fácil uso para los agricultores. Se deben identificar las modalidades y períodos de aplicación más eficaces. El fertilizante no puede evaluarse sino en interacción con otros factores de rendimiento (tipo de preparación del suelo, prácticas de cultivo), del cultivo y de su rotación.

Para elaborar recomendaciones viables, el trabajo descrito arriba debe provenir de un proceso gradual que asocie el trabajo en la estación con la investigación en campos. Las prácticas que serán divulgadas deben ser diversificadas en función de las exigencias propias de las diferentes microrregiones y de los grupos de productores y ser perfeccionadas mediante la investigación en campos.

En los últimos años, se han realizado diversos trabajos relativos a la implantación de técnicas de mejoramiento y mantenimiento de la fertilidad de los suelos en sistemas de insumos limitados. Ellos confirman los beneficios que pueden obtenerse, por ejemplo, en el cultivo del maíz en zonas tropicales, del uso de composto con residuos de la cosecha (si es posible asociado con un fertilizante nitrogenado ligero), o de la aplicación de fosfatos naturales, de la estrecha asociación que existe entre el cultivo del maíz y la ganadería, y del uso de abono animal.



Los trabajos realizados en Sefa, Senegal, por IDESSA, IRAT e IFD durante 5 años, sobre la rotación maíz-leguminosas, han demostrado que incluso en años de sequía (1981 y 1984) se obtuvieron rendimientos de 1.7 t/ha sin agregar urea y su eficacia puede incrementarse mucho con aplicaciones localizadas en forma de "supergránulos". Sin el suministro de urea, el uso de composto de paja de maíz permitió obtener rendimientos promedios de maíz de: 900 a 1400 kg/ha con una aplicación de 0.5 a 1 t/ha de composto y 900 a 2,000 kg/ha con una aplicación de 2 a 3.5 t/ha de composto. Con la aplicación de 100 kg/ha de urea en el momento en que se cubren las plantas con tierra, en un cultivo que ha recibido de 1.5 a 3 t/ha de composto, es posible obtener rendimientos de 3 t/ha.

Desde hace muchos años, varias instituciones han emprendido la evaluación agronómica de los fosfatos naturales en África Occidental como substitutos parciales de los superfosfatos importados. Por ejemplo, el estudio de fosfatos de Matam, Senegal, muestra la conveniencia de estos fosfatos naturales en la rotación maíz-algodón en suelos ferruginosos lixiviados donde se disuelven parcialmente debido a las propiedades fisicoquímicas de este tipo de suelo.

Otro ejemplo: los resultados obtenidos en Níger por el IRAT y por la FAO en Tarna y en Maradi han demostrado que la aplicación de 70 unidades de P_2O_5 (fosfato natural local + fosfato soluble importado) permiten restablecer la fertilidad química de los suelos ferruginosos, cuyo potencial de producción en zonas densamente pobladas se ha reducido considerablemente en las últimas décadas.

La utilización de los sistemas de cultivo que apuntan a una intensificación gradual asociando la fertilización mineral y orgánica con las prácticas de cultivo adaptadas a las técnicas de los agricultores podría tener un efecto considerable sobre el crecimiento medio

de los rendimientos, como lo demuestra el resultado obtenido en Saria, Burkina Faso (figura 1).

En regiones de precipitación pluvial crítica, la aplicación balanceada de fertilizantes (incluidos los de potasa), junto con los residuos de la cosecha, permite lograr una producción más estable (menos variabilidad del rendimiento de un año a otro), como lo manifestó un ensayo realizado en Bambey, Senegal. Asimismo, las aplicaciones de estiércol permiten utilidades máximas sobre la inversión en el encalado de los suelos degradados al norte de la región donde se cultiva el cacahuete en Senegal.

Técnicas y sistemas de cultivo. Durante los últimos 20 años, se ha enriquecido considerablemente el marco de referencia técnica de la agronomía tropical. Por consiguiente, son pocas las situaciones ecológicas de la zona intertropical para las que aún no es posible proponer algunas mejoras técnicas, no importa los sistemas de cultivo o el grupo de agricultores de que se trate, aun cuando el conjunto de técnicas disponibles, particularmente los implementos y los demás insumos (semillas, plaguicidas), sean muy rudimentarias comparadas con las que tiene a su disposición el agricultor de los países templados industrializados.

En lugar de incluir un inventario tedioso, presentamos ejemplos de esta diversidad, agrupados en temas técnicos extensos, dos en zonas semiáridas y dos en zonas húmedas. La mayoría de ellos son fruto de la tradición agronómica tropical, pero han sido objeto de importantes trabajos científicos experimentales durante las últimas décadas.

Zona semiárida. El marco de referencia técnico para esta zona trata de proponer un sistema de cultivo permanente, basado en la rotación de cultivos, con o sin barbecho, utilizando abonos orgánicos y minerales e intensificando la labranza, que se apoya en la asociación entre agricultura y ganadería y sobre

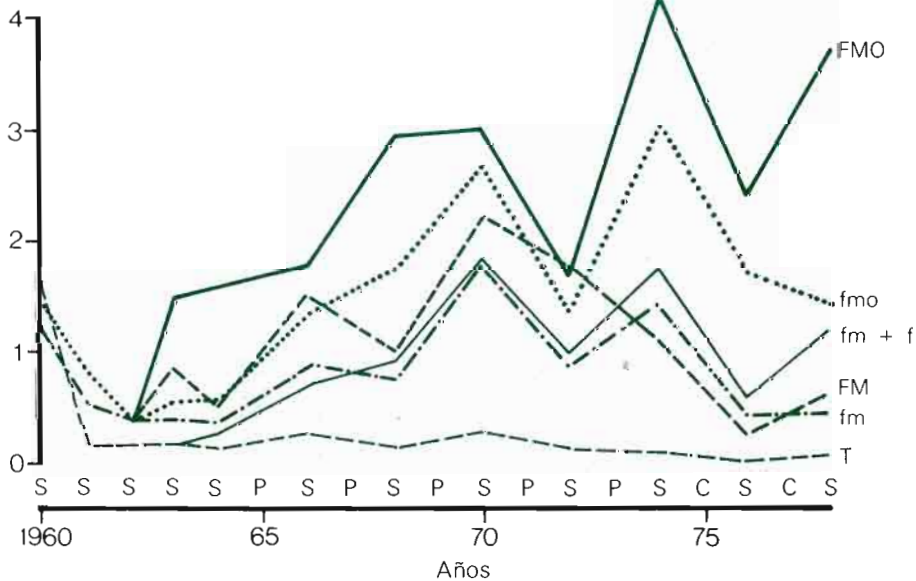
todo (si lo permite la extensión de la superficie) en la mecanización de las técnicas agrícolas (tracción animal, motorización intermedia).

Numerosos trabajos sobre *la selección de la secuencia de cultivos* en Asia, Brasil y África Occidental han analizado, en diversas situaciones, las rotaciones más convenientes, tanto desde el punto de vista biológico (eliminación del parasitismo vinculado a un cultivo, utilización de efectos residuales de la fijación simbiótica del nitrógeno por las leguminosas, mejor control de malezas por la alternancia de cultivos, reducción de la acumulación de sustancias fitotóxicas, etc.) como desde el punto de vista económico (distribución de riesgos y trabajos en el esquema de rotación de cultivos).

De manera general, percibimos lo siguiente: (1) la conveniencia de las rotaciones con alternancia de cereales y leguminosas y (2) los inconvenientes de repetir un mismo cultivo dos veces en el mismo suelo, o de practicar los siguientes cultivos en rotación: sorgo-maíz, arroz-maíz o maíz-sorgo.

En las regiones donde se pueden realizar cultivos dobles anuales, es preferible la combinación de arroz de temporal y maíz de ciclo corto en la primera temporada, mientras que el algodón y las leguminosas anuales son recomendables en la segunda. Se han propuesto sistemas llamados "cultivos de relevo", sobre todo en cultivos manuales para las regiones de poca precipitación pluvial, con el fin de efectuar en forma continua

Rendimientos de sorgo (t/ha)



sorgo (S), cacahuate (P) o caupí (C)

FMO: Fertilizante mineral fuerte y estiércol

fmo: Fertilizante mineral débil y estiércol


fm + f: Fertilizante débil y residuos enterrados de la cosecha y abono verde

FM: Fertilizante mineral fuerte

fm: Fertilizante mineral débil

T: Testigo sin abono

Figura 1. Ensayo para el mantenimiento de la fertilidad en Saria, Burkina Faso, con una rotación de sorgo y leguminosas.



un cultivo de cereal (maíz) y un cultivo intercalado de leguminosas antes de la floración del maíz.

La creación de técnicas adaptadas a la *tracción animal* en zonas semiáridas ha sido obra de numerosas organizaciones, pero principalmente del CIRAD en África Occidental y del ICRISAT en la India. Dichas técnicas se refieren principalmente a la preparación del suelo (arados, almácigos, bordos y surcos), al control de malezas y al transporte. La introducción de semilleros y su desarrollo ha fomentado el avance del cultivo del cacahuate, y ya comenzó a aplicarse al maíz. No existe material de cosecha estudiado para tracción animal, salvo para la cosecha de cacahuate en Senegal. Según el caso, la difusión de la tracción animal se realiza por "regiones" enteras (por ejemplo, la zona dedicada al cultivo de cacahuate en Senegal) o por microzonas (por ejemplo, manejo de agua en Níger). El uso de animales de tiro permite a los agricultores ampliar las superficies de cultivo, y reducir los cuellos de botella durante la siembra y la escarda.

Zona húmeda. Hemos constatado grandes dificultades relativas a la labranza, sobre todo la labranza mecanizada en zonas húmedas tropicales. Una serie de estudios realizados durante la última década ha abordado el tema de los sistemas de cultivo basados en la *labranza mínima* del suelo.

La práctica de la labranza cero ha encontrado sus fórmulas en numerosos países tropicales (Costa de Marfil, Nigeria, México, Brasil) para cultivos tales como el maíz y el arroz de temporal. Las técnicas de la no labranza permiten aprovechar en forma rápida y con un costo mínimo los suelos arcillosos difíciles de trabajar, por ejemplo, en el sudeste asiático (trigo).

La labranza cero, en la que ciertos defectos son corregidos por una alternancia plurianual con un cierto trabajo del suelo, ha permitido el desarrollo rápido del uso de herbicidas

totales (antes de la siembra) y la elaboración de implementos manuales o arrastrados (sembradores, aplicadores de fertilizantes), susceptibles de utilizarse en suelos no labrados y sobre "mulch".

En diferentes regiones de la zona tropical húmeda, la *asociación de cultivos* bajo una cubierta forestal es el fruto de numerosas tradiciones. Estas asociaciones, que pueden incluir cultivos perennes comerciales como el café, han sido objeto de muchos estudios que examinaron las ventajas que las caracterizan:

- mejor cobertura y protección del suelo;
- mayor productividad del sistema, como consecuencia de la complementariedad de los requerimientos de los diferentes cultivos (a nivel de cantidad de luz, perfil de cultivo y elementos nutritivos), y
- la reducción de la presión parasitaria.

Se ha demostrado en las tierras altas del oeste de Camerún que la asociación maíz-soya puede rendir 50% más que el cultivo exclusivo de una de estas dos especies en una superficie equivalente. Este rendimiento excedente es menos marcado en la asociación de maíz-frijol. Los tiempos de labranza son, en general, iguales que los de un cultivo único, pero hay una reducción en los tiempos de escarda, que a menudo constituyen un período pico de labores agrícolas.

En los *sistemas de cultivos asociados*, como los que implantó el IITA, hay una rotación de cultivos permanentes en fajas rodeadas de arbustos, a menudo leguminosas donde la vegetación, regularmente rebajada, se utiliza como "mulch" para las especies anuales cultivadas en estas fajas y el resto puede servir como leña, madera para bardas o forraje. Otra característica de estos sistemas de cultivo, muy diversificados, es la transferencia permanente en beneficio de los cultivos anuales (maíz, tubérculos y caupí). La mayoría de los sistemas de cultivos asociados que

propone el IITA incluyen las leguminosas perennes *Leucaena leucocafala* o *Gliricidia sepium*.

La adopción de nuevas tecnologías

La oferta y la demanda

Tanto la investigación de desarrollo como la que enfoca un tema específico deben asociar la oferta y la demanda de innovaciones. Por tanto, es indispensable que los investigadores perciban la compleja demanda de innovaciones de los agricultores, jerarquicen las limitaciones y calculen las consecuencias a nivel agrícola, técnico, económico y de la institución.

Ciertas innovaciones no implican transformaciones profundas del sistema de producción ni requieren nuevas inversiones: es el caso de la substitución de variedades locales por variedades mejoradas. Pero, en la mayoría de los casos, las innovaciones implican cambios tales que los investigadores y los encargados de los proyectos de desarrollo deben evaluar claramente las consecuencias.

La introducción de fertilizantes en un sistema autosuficiente presupone necesariamente la existencia de un mercado para los excedentes de la cosecha, la aceptación de riesgos financieros y la creación de crédito para el campo. La introducción de sembradoras y de herbicidas para contrarrestar las limitaciones de los tiempos de labranza implica la expansión de la superficie explotable con todas las consecuencias que esto acarrea. A menudo, no puede implantarse una innovación si no está acompañada de otras innovaciones (fertilizantes y variedades mejoradas, por ejemplo).

En definitiva, debemos admitir que las innovaciones no tienen virtudes inherentes, que su aplicabilidad es siempre relativa y que su implantación supone que han de insertarse en programas técnicos coherentes y aceptables para los productores y su medio ambiente.


Cualesquiera que sean las innovaciones y su "aplicabilidad intrínseca", no pueden implantarse si no encuentran un eco favorable entre los productores, y la actitud de éstos depende, en definitiva, de la manera en que se cumplen ciertas condiciones que hacen las veces de filtros:

- El conocimiento previo de las innovaciones, lo que rara vez ocurre (barreras del idioma, deficiencias en educación, comunicación, etc.);

Cualesquiera que sean las innovaciones y su "aplicabilidad intrínseca", no pueden implantarse si los productores no las aceptan.

- La capacidad técnica para dominar la innovación, lo cual plantea el problema del adiestramiento en técnicas nuevas (por ejemplo, la mecanización);
- La existencia de medios logísticos eficientes sobre los que el agricultor sabe que se puede apoyar (disponibilidad efectiva de insumo, posibilidad de obtener créditos, etc.);
- La existencia de mercados seguros y organizados para los excedentes de la producción (que son raros en el caso de los productos básicos), y
- La participación racional en el riesgo financiero vinculado a la adopción de innovaciones, sobre todo en años desfavorables (concepto de seguros y de prorrateo).

En un momento dado, el sistema técnico de producción que elige el agricultor refleja el medio socioeconómico que lo condiciona. Tenemos numerosos ejemplos. En Senegal, se observó la evolución de los sistemas de cultivo en el seno de las "unidades experimentales" y la aparición rápida y luego la regresión del maíz, de acuerdo con la evolución del precio de los fertilizantes y de las facilidades para



comercializar los granos. En el proyecto de Terres Neuves (también en Senegal) hemos visto, a fines de los 70, modificarse la rotación inicialmente propuesta por los agrónomos para dar lugar a los cultivos más comercializables y redituables (cacahuete) y al cultivo de subsistencia más apreciado (sorgo).

Algunos aspectos positivos

Cabe mencionar los notables éxitos tecnológicos obtenidos en materia de agronomía tropical en el caso de la palma de aceite (para citar un cultivo comercial) o del algodón, particularmente en las regiones semiáridas de África. En el campo de los productos básicos, algunos avances en materia de producción de trigo y arroz han sido tan espectaculares, en la década de los 70, que han ameritado nombres como la "revolución verde".

No podemos pasar por alto el hecho de que el instituto que es hoy nuestro anfitrión ha sido uno de los artesanos mayores de este renacimiento, y baste con mencionar que en 1984, 45 millones de hectáreas de trigo en los países en desarrollo utilizaron las variedades surgidas de las investigaciones del CIMMYT. La capacidad de estas variedades para mantener un comportamiento aceptable en condiciones difíciles es, sin duda alguna, una de las razones de su éxito. Su capacidad de respuesta ante prácticas intensivas, sobre todo en lo que respecta a fertilizantes minerales, como lo demuestra el trabajo sobresaliente realizado por el CIMMYT en Argentina, es otra de las razones de su éxito.

Sin embargo, hay varios autores — a menudo economistas — que han efectuado un balance provisional de los últimos 40 años de esfuerzos tecnológicos en el campo de la producción agrícola tropical y que no pueden disimular un cierto pesimismo. Por el contrario, ciertos agrónomos piensan que se han menospreciado los avances tecnológicos y el impacto que éstos podrían tener si se implantaran los resultados ya disponibles, aun a corto

plazo. Para sustentar esta tesis, debemos incluir algunos ejemplos de experiencias que han demostrado que los avances significativos no son sólo imaginables, sino también perfectamente viables.

La evaluación retrospectiva de tres grandes proyectos de desarrollo rural integrado, financiados por el Banco Mundial en el norte de Nigeria (Gusao, Funtua y Gombé) ha demostrado tasas de crecimiento de la producción de más del 5%, como promedio anual, para los principales cultivos agrícolas (mijo, sorgo y maíz). En el caso del sorgo y del maíz, los resultados son particularmente espectaculares: las variedades locales seleccionadas han permitido cosechar 1,400 kg/ha de sorgo y casi 3 t/ha de maíz. De manera general, los rendimientos obtenidos en los campos cultivados según los métodos y prácticas recomendadas fueron más del doble de los obtenidos en las parcelas tradicionales.

El proyecto "Mali Sud" en Malí y el proyecto "Ouest-Volta" en Burkina Faso, ambos patrocinados por la CDFT (compañía francesa para el desarrollo de las fibras textiles), son dos ejemplos del potencial de desarrollo de los proyectos algodoneeros en regiones donde la precipitación pluvial anual sobrepasa los 900 mm.

Después de cuatro años, la producción de algodón ha alcanzado en 1979/80 la cifra récord de 65,000 toneladas para el proyecto "Ouest-Volta" y 142,000 toneladas para el proyecto "Mali Sud", lo que significa incrementos respectivos de 40 y 22% en tres años. Los rendimientos medios, muy elevados para el algodón sin irrigación, exceden la tonelada por hectárea, es decir, el doble de la media registrada para la zona de África al sur de Sahara.

En lo que respecta los resultados obtenidos en estos proyectos para los cultivos básicos, donde la libre comercialización dificulta la evaluación de la producción, se estima que el rendimiento de mijo y de sorgo, en las zonas cubiertas por el proyecto, aumentó

un 25% anual durante los cuatro primeros años del proyecto "Ouest-Volta". En el caso del proyecto "Mali-Sud", se considera que los rendimientos medios de mijo y de sorgo, cultivados en rotación con algodón en las 120,000 hectáreas del proyecto, rebasarán en un 40% los rendimientos obtenidos con los métodos tradicionales. En cuanto al maíz, introducido y difundido en el sur de Malí, los resultados han sido sorprendentes: hay más de 24,000 hectáreas cultivadas que produjeron rendimientos medios de alrededor de 2 t/ha.

En estos dos ejemplos, se observa (1) que los éxitos mencionados se han logrado tanto en cultivos comerciales (algodón) como en cultivos básicos y (2) que la intensificación de los cultivos básicos es imposible si no se implanta una organización logística suficiente (comercialización, disponibilidad de insumos, supervisión técnica, etc.).

En general, se observa que el desarrollo de los cultivos básicos y su intensificación no se detienen por la falta de material superior ni de tecnologías muy avanzadas sino por la escasez de situaciones en las que existen condiciones logísticas efectivas, indispensables para incrementar la producción.

En otros ejemplos más precisos se demuestra que se pueden obtener avances rápidos a partir de innovaciones sencillas, entre ellos el reemplazo rápido—en Senegal, durante los 70—del *sanyo* por variedades locales mejoradas de *souna* que responden mejor a la aplicación de fertilizantes; el desarrollo de la producción de maíz en Sine Saloum, gracias a la investigación de variedades, fertilización y tracción animal; el rápido desarrollo del maíz al norte de Adamoua en Camerún hacia el fin de los 70, cuando SODECOTON, una empresa bien establecida con importantes medios logísticos, se hizo cargo de promover este cultivo. También cabe mencionar la interesante experiencia que tuvo el ORD en las cuencas altas de Burkina Faso en 1984. Este estudio ha demostrado que los

agricultores habituados a prácticas bastante intensivas en el caso del algodón, no dudan en cultivar una parcela completa con maíz, limitado tradicionalmente a la hortaliza casera. El nivel técnico de estas culturas nuevas del maíz en rotación con algodón o sorgo blanco logró de inmediato un alto grado de intensificación (uso de abono animal, urea, semillas mejoradas y labranza con tracción animal) y los rendimientos de 2.4 a 4.7 toneladas por hectárea fueron de dos a cuatro veces superiores al rendimiento medio nacional.

Los puntos débiles del binomio investigación y desarrollo

Carencias vinculadas al medio socioeconómico y político general. A lo largo de esta exposición, hemos constatado cómo la implantación de innovaciones depende de limitaciones vinculadas al medio ambiente económico y sociopolítico. Se deben subrayar particularmente:

- El problema de los terrenos agrícolas que no se utilizan porque son inaccesibles;
- La escasez de insumos en los lugares de producción y la poca capacidad de las organizaciones de recolección y almacenamiento de productos;
- La falta de capacitación técnica de los agricultores a la que se agrega el deficiente nivel educativo y a veces, el problema del idioma;
- La deficiencia de las organizaciones de campesinos y profesionales;
- La falta de atractivo del medio ambiente rural, que favorece la emigración hacia las ciudades. La ausencia evidente en muchas zonas rurales de servicios sociales (hospitales, escuelas, etc.);
- Retraso en las medidas de reforma agraria que favorecen la emergencia de una agricultura modernizada, y
- La escasez de estímulos (precios, créditos, etc.) particularmente en el caso de los productos básicos.

Carencia en la investigación de innovaciones agronómicas. *Los medios de investigación son insuficientes para las necesidades existentes.* Esta

insuficiencia es particularmente notoria si tenemos en cuenta:

- La multiplicidad de situaciones y la importancia de los problemas agronómicos en los trópicos;
- El hecho de que las investigaciones realizadas hasta la fecha son recientes, si se les compara con las de otras zonas climáticas, sobre todo las regiones templadas;
- La escasez, en ciertas regiones, y en el caso de los cereales, de investigaciones no gubernamentales (por el sector comercial), a diferencia de las zonas templadas (máquinas, semillas, plaguicidas);
- Carencias que comienzan a aparecer en numerosas investigaciones fundamentales que son esenciales al progreso futuro, y
- Por último, las investigaciones deficientes sobre los sistemas de producción tradicionales y sobre las condiciones de su mejoramiento a corto y a mediano plazo.

La investigación es ineficaz y tiende a separar los diversos tipos de experimentación: las investigaciones temáticas desconectadas no facilitan la implantación de tecnologías globales. Muchas investigaciones de base no parecen ser prioritarias para los responsables del desarrollo y existe mucha desvinculación, particularmente en el ámbito de los cereales, en todo lo que se refiere a técnicas para después de la cosecha y de transformación de los productos.

Muchas veces, *los investigadores carecen de credibilidad*. Los encargados del desarrollo desconfían de los resultados obtenidos en las estaciones piloto y cuestionan la capacidad de los investigadores para analizar los problemas técnicos del desarrollo.

Carencias en la implantación. Además de los obstáculos generales que impiden la implantación de las innovaciones, cabe señalar que éstas son, a menudo, poco conocidas. Muchos autores han puesto en evidencia la lentitud con que se divulgan las innovaciones. Un gran número de experiencias válidas o de

mejoras que pueden interesar a los productores no prosperan porque no se hacen del conocimiento de las poblaciones rurales que podrían interesarse por su adopción.

Por otra parte, la profusión en los últimos años de seminarios y conferencias técnicas que reúnen a expertos nacionales e internacionales poco contribuye a modificar este estado de cosas, porque las recomendaciones y conclusiones de estos coloquios rara vez llegan hasta los responsables agrícolas y se redactan en un estilo y, a menudo, en un idioma inaccesible para las poblaciones rurales. Finalmente, muchos productos de la investigación (implementos sencillos, fertilizantes de formulaciones adaptadas, semillas certificadas) no se ponen a disposición de los agricultores.

Las innovaciones propuestas son poco adoptables. Podríamos citar varios casos de variedades supuestamente superiores que resultan poco adaptadas al gusto de los consumidores. Los estudios realizados en 1981 en Burkina Faso por el ICRISAT han mostrado claramente que la supuesta superioridad de variedades mejoradas de sorgo no se manifestaba bajo las condiciones en que los agricultores las cultivaban. En el sur de Malí, las variedades nuevas de maíz de ciclo más corto fueron abandonadas cuando los agricultores comprobaron que eran menos resistentes que las variedades tradicionales a los períodos de sequía en plena temporada de cultivo.

Por último, las innovaciones se implantan mal. A menudo hemos constatado que hay tecnologías excelentes, como el uso de herbicidas en el maíz, que pierden gran parte de su valor y de su eficacia cuando se escogen mal las dosis aplicadas, la época de aplicación y el tipo de producto utilizado. Los especialistas del Banco Mundial han puesto en evidencia, *a posteriori*, que los mayores rendimientos previstos en ciertos proyectos de desarrollo no se han obtenido porque ni los tipos de fertilizantes, ni las dosis, ni las técnicas de aplicación se utilizaron correctamente.

Un sinnúmero de tentativas de mecanización intermediaria en Africa terminaron en el fracaso a pesar de los pronósticos optimistas, debido a la imposibilidad de extender el tamaño de las explotaciones para alcanzar un nivel dado de rentabilidad, o por la falta de conocimientos técnicos de los agricultores, o por carecerse de los insumos que exige la mecanización.

Conclusiones sobre la estrategia de innovación y desarrollo

Conclusiones generales

La investigación y la implantación de tecnologías nuevas no puede concebirse independientemente de una estrategia global de la que podemos mencionar algunos principios fundamentales:

- Reformar, si fuera necesario, o adaptar los regímenes jurídicos de la tenencia de la tierra;
- Mejorar las condiciones generales de la vida rural (sanidad, caminos, educación, etc.) y aprovechar zonas nuevas de producción potencial;
- Desarrollar estímulos políticos a la producción, por medio de una política de precios de los productos e insumos o una política de créditos apropiada;
- Elevar la capacidad de los productores para asumir un papel activo, no solamente en la producción sino también en la organización de la comercialización de sus productos, en la adquisición de insumos y en la administración del espacio rural;
- Desarrollar e integrar industrias "río arriba" (de insumos) y "río abajo" (agroalimentarias) para los productos, y
- Organizar y sostener esfuerzos a mediano y largo plazo para defender y restaurar el medio ambiente natural y economizar los recursos naturales.

La implantación de esta estrategia supone una coordinación estrecha y una continuidad en los esfuerzos a nivel de cada estado, pero también a nivel regional. Asimismo, presupone una coordinación particular de esfuerzos de

donaciones y una armonización indispensable de la ayuda externa, tarea que de ninguna manera es sencilla.

Consecuencias para la investigación de nuevas tecnologías

Ampliar el esfuerzo global de investigación. Hemos visto las numerosas razones que se aducen en favor de la intensificación de los esfuerzos de investigación. En el ámbito del ecosistema, queda por realizar un esfuerzo importante para conocer mejor los mecanismos fundamentales del mismo y para definir a nivel de la región o de la explotación, los métodos más apropiados de protección y utilización armónica del medio ambiente. En lo que se refiere a la agricultura, es posible distinguir entre la investigación a corto y a mediano plazo.

Las investigaciones a corto plazo deben partir de los problemas reales que afrontan los productores con miras a eliminar las limitaciones apoyándose en los resultados obtenidos. Numerosas técnicas sencillas que no requieren inversiones importantes ni un medio técnico óptimo pueden implantarse y diversificarse dentro de una estructura de investigación y desarrollo que reúna a investigadores, encargados del desarrollo y productores.

Debido a su importancia futura, *las investigaciones a largo plazo* dependen de un mejor conocimiento del medio ambiente y de los mecanismos fisiológicos que determinan la adaptación de las plantas a su medio y a los sistemas más productivos. Las investigaciones a largo plazo también deben identificar y diseñar técnicas agronómicas más eficaces, más diversificadas y adaptadas a los sistemas principales y a la ecología. Deben encontrar sistemas estables, económicos en cuanto a insumos y centrados en un cultivo continuo e intensivo. Asimismo, deben apuntar a la diversificación de los productos y a encontrar tecnologías nuevas de transformación de estos productos.

Acrecentar la eficacia y la vinculación de las investigaciones.

La eficacia de las investigaciones y su vinculación constituyen dos de los elementos esenciales que deben tomarse en cuenta, y presuponen:

- Un esfuerzo para eliminar los obstáculos y conferir responsabilidad a los investigadores. La interacción disciplinaria y la apertura de los investigadores de un tema a otras especialidades con las que se relacionan sus campos de trabajo, junto con el enfoque de "producto" o "sistema" por zona ecológica son medios excelentes de reunir a los especialistas en el seno de equipos multidisciplinarios.
- Una mejor organización de los esfuerzos globales de investigación. El examen retrospectivo del GCIAl demuestra la importancia y el papel benéfico que ha tenido, en este campo, el esfuerzo por definir e implantar una estrategia mundial de investigación agrícola apoyada en un reparto equilibrado de instituciones con misiones bien definidas. El desarrollo reciente de numerosas redes temáticas que involucran diferentes entidades (institutos internacionales, ayudas bilaterales, investigaciones nacionales) es una iniciativa útil que se encamina hacia una mayor eficiencia de las investigaciones.

Incrementar el esfuerzo por difundir las innovaciones.

Los investigadores o, de manera general, todos los que pueden producir innovaciones, deben ayudar a dar a conocer con más facilidad, rapidez y eficiencia, las técnicas y las experiencias que han demostrado su validez, entre la población rural.

Conclusiones sobre la implantación de las técnicas existentes

En el análisis patrocinado por el Banco Mundial² sobre el binomio "investigación y desarrollo" y su reforzamiento, se evidencia la necesidad de "solidarizar" las diferentes partes para reducir la disgregación y para incrementar la eficacia global de los esfuerzos. Deberá emprenderse un esfuerzo sostenido para que se tome conciencia de esta interdependencia en las acciones de cada sector. Sólo a este precio se podrá visualizar una coherencia entre las estrategias de investigación y desarrollo por un lado, y las respuestas a las esperanzas legítimas de los productores del Tercer Mundo, por el otro.

En este sentido, es esencial que todos los que se interesan por la implantación de las tecnologías, tomen en consideración los siguientes puntos:

- Preocuparse por estudiar la problemática de los agricultores, comenzando por los más desposeídos, exhortando cuando sea necesario a investigadores y especialistas a resolver en primer término los problemas técnicos;
- Informar a los productores de las soluciones propuestas, y su adopción;
- Organizar la logística (insumos, comercialización) que requiere la adopción de tecnologías nuevas;
- Estimular a los productores para que se vayan haciendo cargo, en forma gradual, de la administración de esta logística, y
- Promover el desarrollo de las actividades "río arriba" y "río abajo" necesarias para mejorar la producción.

Notas

1 De acuerdo con el Programa de Sistemas de Cultivo del Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA).

2 Banco Mundial. 1983. Informe No. 4684.

Comentarios

A. Turrent F.
**Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales y Agropecuarias, México**

El objetivo de mis comentarios consiste en enriquecer la perspectiva latinoamericana de este excelente documento.

La dicotomía es una característica muy común del sector agrícola latinoamericano. En estos países uno encuentra un subsector agrícola muy moderno, intensivo en capital y orientado al mercado y otro subsector intensivo en mano de obra y dirigido fundamentalmente a la sobrevivencia de los recursos humanos que lo constituyen, y que además emplea en forma muy limitada los insumos modernos. Algunos ejemplos del primer caso son el Valle del Yaqui en México, el Valle de Cauca en Colombia y la región costera de Perú. El trigo se cultiva en México en este tipo de condiciones y los rendimientos son de más de 4.5 t/ha en más de un millón de hectáreas, mecanizadas casi por entero. En esta zona se encuentran en abundancia prácticamente todos los servicios necesarios para la agricultura, y se puede afirmar sin temor a equivocarse que en este valle los obstáculos para obtener rendimientos más altos se relacionan exclusivamente con la radiación solar y los regímenes de temperatura que imperan en la región. Tales obstáculos sólo se pueden superar mediante avances en el campo de la genética y no con mejores prácticas agronómicas de producción. Por desgracia, la tierra de buena calidad y los recursos hidráulicos necesarios para alcanzar un éxito semejante se obtienen mediante sistemas de riego en gran escala y son limitados, al igual que la magnitud relativa de este subsector que, en México, constituye menos del 10% de casi tres millones de unidades agrícolas.

El sector agrícola tradicional de América Latina abarca la mayor parte de sus unidades agrícolas. Normalmente se


asocia con servicios limitados para la producción y suelos marginales, y en él predominan las tecnologías agrícolas tradicionales. No obstante, existen relaciones de trabajo entre los dos subsectores, a menudo a través del mercado laboral, que exponen al sector tradicional al uso de insumos modernos. De esta forma, la utilización de insecticidas y fertilizantes se está volviendo la regla y no la excepción en el subsector tradicional. A pesar de ello, la productividad de la tierra, y sobre todo la de la mano de obra, sigue siendo baja y sin duda podría incrementarse. Se puede afirmar que en este subsector tradicional existe un enorme potencial para la producción de alimentos, pero que todavía no se comprenden bien las reglas para desarrollarlo. Así pues, resulta obvio que la agronomía, junto con otras disciplinas necesarias, todavía puede hacer importantes aportaciones.

En México, el maíz se cultiva casi en su totalidad en el subsector tradicional, con rendimientos medios de 1.8 t/ha en una superficie de 7.5 millones de hectáreas y utilizando cerca de 50 días/hombre de trabajo por hectárea.

Al hablar de lo mal que se adaptan las tecnologías tradicionales a la situación presente y futura de los países menos desarrollados, existen varios hechos importantes para el caso de América Latina que me gustaría analizar

Sistemas agrícolas tradicionales en América Latina

Primero, hay que decir que las tecnologías latinoamericanas se originaron en un proceso de casi cinco siglos de antigüedad en el cual se fusionaron las prácticas indoeuropeas y americanas nativas. Este proceso produjo los dos grupos de tecnologías que caracterizan al subsector orientado al mercado y al subsector tradicional. Al hablar de las tecnologías tradicionales, es



preciso distinguir dos tipos principales: (1) cultivo de roza y quema y (2) agricultura sedentaria. El tipo de roza y quema imperó hasta hace poco tiempo, pero las presiones demográficas que se ejercen sobre la tierra han reducido el periodo de inactividad de la tierra de 16-20 años que se usaba antes, lo cual plantea dos nuevos problemas al productor tradicional: la maleza y la menor fertilidad del suelo. En el caso de México, donde todavía se manejan cerca de cinco millones de hectáreas con este sistema, y más específicamente en la península de Yucatán donde los periodos de inactividad son tan cortos que apenas duran cuatro años, los agricultores utilizan fertilizantes y herbicidas ya en el segundo año de cultivo. El sistema está empezando a salir de la autarquía.

En América Latina se pueden encontrar muchos ejemplos de soluciones no autárquicas, inteligentes e incluso elegantes, a los obstáculos ecológicos.

El tipo de agricultura sedentaria en América Latina presenta variantes que van de muy avanzadas a escasamente desarrolladas, aunque todas se encuentran dentro de un contexto tradicional. Algunos ejemplos de los mejores tipos de la primera variante son el modelo tradicional de cultivos y ganado lechero confinado de las altiplanicies mexicanas y el sistema de papa, maíz y frijol de Rionegro, Colombia. En el primer ejemplo, se puede observar la herencia de la agricultura americana nativa (maíz, frijol, calabaza, tejocote, capulín y guajolotes) y de la agricultura europea (alfalfa, manzanas, peras, ciruelas, ganado lechero holstein, cerdos, ovejas, gallinas y caballos) combinadas por una tecnología que las une y donde los insumos modernos son comunes. No cabe duda de que este modelo podría progresar, pero el investigador debe

comprender los requisitos indispensables del sistema, uno de cuales es que la agronomía por sí sola no constituye toda la base para mejorarlo.

Ajuste de las tecnologías tradicionales

En América Latina se pueden encontrar muchos ejemplos de soluciones no autárquicas, inteligentes e incluso elegantes, a los obstáculos ecológicos; uno de ellos es el cultivo intercalado de maíz e higuierilla (*Ricinus*), desarrollado por los agricultores tradicionales del Valle de Oaxaca, México. Este sistema de cultivo permite utilizar durante todo el año suelos profundos de textura media a pesada, en un clima que se caracteriza por tener una precipitación pluvial total de 600 mm, que representan cerca de una tercera parte de la demanda total de evaporación. El productor cosecha el grano del maíz para el consumo de su hogar y la semilla de higuierilla para el mercado, el rastrojo del maíz y el follaje de la higuierilla para alimentar los animales de tiro y también para combustible. El suelo recibe cantidades moderadas de fertilizantes químicos cada año y alrededor de cinco toneladas de estiércol por hectárea cada tres o cinco años. En este sistema se pueden efectuar un sinnúmero de mejoras, sobre todo en cuanto a la tecnología que ahorra mano de obra y del mejoramiento genético de los ecotipos de la semilla de higuierilla que podrían producir más follaje y leña más densa. El modelo, que combina cultivos anuales y perennes, es sin duda útil para la intensificación del uso de la tierra con otros componentes perennes opcionales, tales como *Leucaena*, *Gliricidia*, *Cajanus* y especies de *Cactus*, etc.

Estos sistemas agrícolas tradicionales suelen tener en común un uso intensivo de la tierra en términos de tiempo; asimismo, a menudo proporcionan soluciones para terrenos marginales desde el punto de vista topográfico, aunque, por lo general, se da poca atención a proteger el suelo contra la erosión.

Hace poco tiempo que los investigadores de América Latina comenzamos a crear las herramientas necesarias para penetrar en este mundo sorprendente de prácticas tradicionales y a estudiar los principios que tienen que ver con la creación de nuevos modelos adecuados a diferentes situaciones. Sin embargo, no creo que descartemos por completo el rico conjunto de principios de esta tecnología tradicional, cuando pronto tendremos que hacer frente al temible mundo del cambio de siglo, en que es probable que haya que poner a producir todos los terrenos marginales.


Sostengo que para mejorar el papel que desempeña la agronomía en el desarrollo del subsector tradicional en América Latina, se debe dedicar un esfuerzo mucho mayor a estudiar directamente con los productores, los diferentes métodos de adopción de la tecnología. Esta información debe convertirse en una herramienta importante para el perfeccionamiento de la tecnología. Los investigadores deben analizar los requisitos indispensables de las tecnologías nuevas y deben adoptar soluciones prácticas y no normativas. En este contexto, creo que el esfuerzo hecho por los programas nacionales latinoamericanos en este sentido es insuficiente desde todos los puntos de vista. Es necesario difundir el empleo de métodos de evaluación como los creados en el Plan Puebla.

En cuanto a las especificaciones de las variedades mejoradas de maíz, propongo que se dé importancia a la calidad del producto consumido, de manera similar a como se hace en el caso del trigo. En cuanto se refiere al maíz, la comunidad científica por tradición equipara el concepto de calidad con el valor nutritivo; el total de proteínas, equilibrio de aminoácidos, calidad de la fécula, etc., son los criterios básicos de calidad. Al parecer se trata de un legado de la experiencia europea del siglo XVII, época en que el síndrome de la pelagra afectaba a las poblaciones que consumían maíz. Debió haber sido

entonces cuando los europeos decidieron que el maíz era adecuado para alimentar a los animales, pero no para el consumo humano. Hoy en día, los países más desarrollados emplean el maíz principalmente como alimento animal y también como materia prima en la industria, pero sólo marginalmente como alimento humano (por ejemplo, maíz dulce). En México y América Central, el maíz se emplea mucho como alimento humano y el proceso alcalino al cual se somete en la elaboración de las tortillas libera suficiente niacinógeno para evitar el síndrome de la pelagra. Las variedades de maíz de alto rendimiento del medio oeste de Estados Unidos son excelentes para la formulación de alimentos para cerdos, pero pésimas para la elaboración de tortillas, como se habrán dado cuenta mis compatriotas en los últimos 10 años.

Asimismo, debemos advertir que, en comparación con las de otros cereales, la caña y las hojas del maíz son excelentes para forraje y que una planta corta no siempre es conveniente para el manejo y aprovechamiento de plantas y animales en una operación agropecuaria integrada.

Es preciso elogiar la excelente cobertura que hacen los autores del tema de la protección del suelo. Es muy poco lo que puedo agregarle en el contexto latinoamericano, salvo quizá pedir que la puesta en práctica de las técnicas de protección del suelo se relacione estrechamente con tecnologías mejoradas de producción y ahorro de mano de obra. Los aspectos operacionales y las actividades de educación de los agricultores son de vital importancia para la adopción de la nueva tecnología de protección del suelo. Los cambios estructurales que se efectúen en la unidad agrícola con el fin de introducir la crianza de animales, creará la necesidad de producir forraje verde y, al mismo tiempo, producirá estiércol para el suelo, lo cual, a su vez, ofrecerá nuevas oportunidades de usar la tierra en formas que correspondan mejor a la capacidad de la misma.



Sostengo que el empleo de parasiticidas en la agricultura tradicional, sobre todo en la que se ha dado en llamar "labranza de conservación", debe considerarse más como un "mal necesario" que como una "solución milagrosa" para resolver problemas tales como la erosión del suelo, escasez de mano de obra, uso ineficiente del agua, etc.

La experiencia en América Latina indica que los agricultores tradicionales rara vez observan las medidas mínimas de protección y son blanco fácil de los efectos carcinogénicos, teratogénicos y mutagénicos a largo plazo de muchos parasiticidas. Hemos visto niños bebiendo agua en recipientes de Paraquat; este herbicida es un veneno mortal cuando se ingiere por accidente. En el Ejido Juan Jacobo Torres, en Veracruz, México, los agricultores han adoptado tan bien la tecnología del Paraquat que hasta siguen la regla de lavar y hervir el recipiente de Paraquat en detergente y después utilizarlo como un recipiente adecuado para transportar agua potable a los campos. Otro ejemplo es el uso de Lindano en el maíz y frijol secos para proteger el grano después de la cosecha. Los agricultores han descubierto que este insecticida constituye un método económico y fácil de conseguir para preservar su grano durante largos periodos de tiempo. Si bien por lo general algún miembro de la familia sabe leer, prefieren ignorar la advertencia del fabricante de que el producto sólo se debe usar para proteger la semilla para la siembra y no el grano destinado a otros usos. Cuando se les pregunta acerca de este riesgo, a menudo responden que han usado el mismo producto durante casi 10 años y nadie ha enfermado por ello.

Conclusiones

Me gustaría hacer un último comentario sobre las deficiencias de los sistemas de investigación y desarrollo. Este comentario se dirige más al contexto nacional que al internacional. Es tradicional que los sistemas centrales de investigación de los países de América Latina tengan muy poca o ninguna relación con los sistemas universitarios nacionales. Con frecuencia esta situación se deriva del dogma de que la tarea de los institutos es investigar, en tanto que las universidades deben dedicarse a enseñar.

Este dogma ha evitado que se produzcan las bien conocidas interacciones que existen entre los dos grupos en los países más desarrollados y que han contribuido tanto al progreso de la ciencia y de la productividad. Las universidades estatales podrían manejar en forma muy eficiente los problemas locales y específicos, en tanto que el sistema central de investigación podría concentrarse en problemas de alcance regional y nacional. Esto resultaría en el mejoramiento concomitante de la calidad de la educación a través de la práctica y en que el financiamiento otorgado por el gobierno fuera más eficaz.

Los científicos latinoamericanos no debemos permitir que los problemas universitarios actuales, tales como las huelgas de estudiantes y la falta de recursos materiales y humanos, obstaculicen el desarrollo de una relación fructífera a largo plazo. Por otra parte, la comunidad científica internacional y sus patrocinadores deben abordar el problema de cómo equilibrar la inversión en soluciones a corto plazo, que tienden a perpetuar la necesidad de asistencia extranjera, y la inversión en el desarrollo institucional, que reducirá la dependencia de la ayuda extranjera.

Desarrollo de recursos humanos: Transferencia de tecnología

M. Catley-Carlson

Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, Hull, Canadá

Hay por lo menos un sueño que las personas de todas las naciones, ideologías y edades tienen en común: que haya más alimentos, suficientes para toda la gente que tiene hambre en el mundo. A veces ha parecido un sueño imposible. Hasta hace apenas 12 años en la Conferencia Mundial sobre los Alimentos, la mayoría de nosotros no creía que el mundo alguna vez pudiera producir suficientes alimentos para todos sus habitantes.

Bien, ¡sorpresa!...en 1986 podemos decir que ese sueño imposible al parecer se hizo realidad. Durante el tercer cuarto de nuestro siglo, la producción mundial de alimentos superó el crecimiento demográfico del planeta. El arado fue más veloz que la cigüeña, por lo menos durante un tiempo. Es verdad que aún hay muchos hambrientos, quizá más que antes; sin embargo, ahora sabemos que su hambre es principalmente una consecuencia de la pobreza, no de la escasez de alimento. Durante los dos últimos días, ustedes han escuchado, de boca de los mismos hacedores del milagro, algunos detalles de cómo se logró esto; también han oído algunas ideas acerca de lo que debemos hacer para revivir el incremento, ahora detenido, de los alimentos per cápita, para activar la Fase Dos de la revolución verde.

Este 20 aniversario del CIMMYT es un momento ideal para reflexionar sobre cómo se produjo el milagro, y para rendir homenaje a las personas e instituciones que lo hicieron posible. De hecho, deberíamos rezar una breve oración de acción de gracias todos los días, porque es aterrador pensar cómo sería nuestro mundo si no hubiéramos logrado estos avances gigantes en la productividad agrícola. Sin duda nos hemos ahorrado muchos disturbios, sufrimientos y horror.

En cierto modo, lo que ha logrado la revolución verde es ganar tiempo para nosotros. Nos ha dado un par de decenios para poner nuestro hogar mundial en orden, para encontrar una forma de equilibrar nuestros recursos limitados con nuestra población creciente... antes de que la verdad de aquella ecuación odiosa pero venerable, elaborada por Malthus hace casi dos siglos, se reafirme en escenas de hambruna y caos. ¿Estamos utilizando sabiamente esa dádiva de tiempo? Lo dejo a su criterio. Creo que las grandes interrogantes son:


¿Cómo mantendremos los recientes incrementos en la producción agrícola, tanto ecológica como económicamente?

¿Cómo mantendremos este tipo de progreso agrícola, ahora que las mejores oportunidades, los avances más sencillos, han sido aprovechados e integrados al sistema?

¿Cómo extenderemos la revolución verde a las naciones y a las clases que han sido inatendidas, pero que más la necesitan?

Y, cuando el sacerdocio de la ciencia agrícola logre adelantos auténticos, ¿cómo podremos forjar mejores vínculos entre los laboratorios y la vida? ¿Cómo podremos sacar los resultados de los tubos de ensayo y trasladarlos a cubos y palas?

El tema de esta sesión es "El desarrollo de los recursos humanos: transferencia de tecnología." Debemos saber algo acerca de esto, pues cada uno de nosotros es un recurso humano. Sin embargo, lo demás es muy problemático; hoy tenemos aquí tantas ideas sobre lo que significa "desarrollo" como personas presentes en la sala. Y es probable que sean igualmente



divergentes nuestras ideas sobre lo que significa "tecnología" y sobre cómo debe, puede o no puede "transferirse". Una cosa de la que estoy segura es de que no llegaremos a un acuerdo unánime, pero la diversidad de opiniones por lo menos nos permite aprender unos de otros.

Las semillas del progreso

Los recursos humanos y la transferencia de tecnología constituyen un área de superposición, donde las actividades del CIMMYT y las del Grupo Consultivo sobre Investigación Agrícola Internacional (GCIAl) en conjunto, coinciden con los intereses de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional (CIDA) y de todas las demás instituciones aquí representadas. Abordo esta cuestión, naturalmente, desde el punto de vista de un gobierno donador y de una organización que otorga fondos.

Los conocimientos no tienen repercusión, casi no tienen sentido, a menos que se transmitan a través de la capacitación y puedan integrarse a los asuntos del mundo,

¿Qué aportamos al CIMMYT y al resto de la red internacional de centros de investigación agrícola? Bastante; cerca de 15 millones de dólares canadienses ganados con esfuerzo por los contribuyentes de ese país, que hacen de Canadá, creo, el segundo aportador (en cuanto a la cantidad de fondos) a los programas de presupuesto básico de los centros. En buena medida, somos también el principal patrocinador de los proyectos financiados bilateralmente por un país donador, pero ejecutados por el GCIAl y sus miembros.

¿Qué recibimos a cambio de nuestro dinero? Un gran beneficio, no tengo dudas al respecto. La revolución verde en sí y la función esencial de los centros en tantos países es una justificación obvia y aplastante de las cantidades

relativamente modestas de fondos que el GCIAl recibe. Realmente no hay duda de que el pueblo canadiense, en la medida en que está conciente de la existencia de los centros, está más que deseoso de que se asignen dólares como ayuda a su labor, y está totalmente de acuerdo con este tipo de inversión a largo plazo para lograr la autosuficiencia.

También consideramos que el GCIAl es uno de los principales agentes del amplio avance de los conocimientos científicos y agrícolas en el Tercer Mundo. Los canadienses, en conjunto, reconocen que el desequilibrio se vuelve verdaderamente escandaloso cuando menos del 5% de las actividades de investigación y desarrollo del mundo se concentra en las necesidades de tres cuartas partes de la humanidad. Es por eso que el Parlamento de Canadá creó el Centro de Investigaciones para el Desarrollo Internacional (IDRC), y continúa financiando sus esfuerzos para promover la investigación, en, por y para los países en desarrollo. Y ésa es también una de las razones por las que Canadá ha sido uno de los más grandes aportadores al GCIAl.

Para ser más específicos, otro resultado que vemos cuando nuestros dólares de ayuda se invierten aquí, son las actividades de formación que lleva a cabo el CIMMYT y el resto de la red del GCIAl. "La capacitación lo es todo", decía Mark Twain, y, aún cuando no estaba pensando en la investigación agrícola, tenía mucha razón: los conocimientos no tienen repercusiones, casi no tienen sentido, a menos que se transmitan a través de actividades de capacitación y puedan integrarse a los asuntos del mundo.

Entiendo que el CIMMYT ha brindado una gran diversidad de oportunidades de capacitación a más de 3,000 personas de cerca de 100 países, capacitación con una orientación práctica y para personas en su mayoría jóvenes, pero ya con una significativa experiencia de trabajo en sus áreas. Además, creo que más de la mitad de ellas han sido capacitadas "en servicio", y ya trabajaban en niveles medios de los

servicios agrícolas nacionales en países tales como Argelia, Bangladesh, Pakistán, Perú, Tanzania y Turquía. Este es un récord con el que pueden estar no satisfechos, porque todavía queda mucho por hacer, pero sí orgullosos. Esto representa, y todos podemos apreciarlo, un importante paso en la construcción de los cimientos absolutamente esenciales de los sistemas nacionales de conocimientos agrícolas que *deben* ser creados en todas partes en el Tercer Mundo, si queremos hacer frente al problema mundial de alimentos y ganarle definitivamente la guerra al hambre.

Creo que todos nos damos cuenta de lo importante que han sido las oportunidades de capacitación ofrecidas por el CIMMYT, tanto para difundir la revolución verde como para plantar la simiente del progreso futuro en todo el mundo. Es por esto que estamos tan felices con la inauguración de las nuevas instalaciones de capacitación, con todas las promesas que encierran.

Desde hace 10 años, ha sido evidente que la efectividad de los centros internacionales de investigación agrícola depende directamente de la capacidad de los países en desarrollo para absorber y adaptar los conocimientos científicos y la tecnología. Esa capacidad, a su vez, aumentará a medida que se establezcan fuertes sistemas nacionales de investigación agrícola en el Tercer Mundo. Por otra parte, la relación entre los centros nacionales e internacionales sólo puede ser completamente efectiva si trabajan muy de cerca en asuntos de vital importancia como la identificación de prioridades, establecimiento de la agenda de investigación y la determinación de las necesidades de capacitación. En todas estas actividades, el término clave es una participación plena y total.

Hay un pensamiento que quisiera que consideraran respecto a la capacitación y la participación. Me parece que es hora de ensayar enfoques distintos y aprovechar recursos relativamente nuevos. Me refiero en particular al número considerable de personas bien


capacitadas -muchas de ellas por el CIMMYT- que ahora trabajan en los países más avanzados del Tercer Mundo, como la India y Brasil. Creo que sería muy conveniente que estas personas agregaran una nueva dimensión a la participación trabajando con sus contrapartes en los países menos afortunados y ayudando a capacitarlos. Después de todo, existen muchas necesidades en el Tercer Mundo y el CIMMYT no puede capacitar a todos; quizá los que se han beneficiado de la formación tienen una obligación de ayudar a otras personas mediante algún tipo de asociación o cooperación Sur-Sur. Me interesaría mucho escuchar sus opiniones acerca de la viabilidad de esta idea y de cómo se podría llevar a cabo en términos prácticos.

Así pues, en resumen, desde el punto de vista de un donador, Canadá está en extremo complacido de haber cumplido cierta función de apoyo en los primeros 20 años de éxito y logros del CIMMYT, pero no está seguro de que ahora tengamos todas las respuestas al problema de la alimentación mundial, o de que estemos haciendo todo lo necesario o, incluso, de que nos encaminemos hacia un feliz resultado.

Hacia el año 2000

Si miramos hacia el futuro, vemos luz allá adelante, pero no podemos decir si se trata del amanecer de un nuevo día o una locomotora que avanza velozmente hacia nosotros. Una manera de orientarnos, de llegar a una apreciación realista de nuestra situación actual, es proyectar nuestra mente hacia el futuro, digamos el año 2000, el fin del siglo, la culminación del segundo milenio, y preguntarnos: ¿Dónde queremos estar en el año 2000? ¿Qué debemos hacer para llegar ahí?

Por supuesto, la respuesta es: "Queremos un mundo bien alimentado". Queremos tener alimentos suficientes, tan equitativamente distribuidos que la malnutrición no impida a ningún ser humano desarrollar física y mentalmente todo el potencial de su herencia genética.



Ya sabemos que esto significa lograr que dispongan de alimentos los 500 ó 1,000 millones de personas que, este día, no comerán lo suficiente para mantener todo su vigor. Y podemos prever que, además, esto significa obtener alimentos suficientes para los 1,000 millones más de personas que se habrán agregado a la población mundial para el año 2000. Conocemos ya algunos detalles: el 90% de esta población nueva habrá nacido en el Tercer Mundo y, para el año 2000, la mitad de la población de los países en desarrollo vivirá en las ciudades, como resultado de un traslado demográfico en masa, sin precedentes en la historia de la humanidad.

Queremos tener alimentos suficientes, tan equitativamente distribuidos que la malnutrición no impida a ningún ser humano en la tierra desarrollar física y mentalmente todo su potencial.

También sabemos que los alimentos adicionales que necesitamos deben provenir esencialmente de la labor que ustedes realizan, del progreso cualitativo como resultado de la investigación agrícola. No podemos satisfacer nuevas necesidades en la forma en que se hizo a través de gran parte de nuestra historia, labrando tierra nueva con el arado. Hemos aplicado este criterio hasta donde es posible e, incluso, más allá. Cada año se está perdiendo tierra arable de primera calidad, por las inadecuadas políticas agrarias y prácticas agrícolas, la expansión de ciudades y aldeas, las fábricas, carreteras y estacionamientos, y la construcción de viviendas para los habitantes que aumenten día a día.

Por otra parte, la nueva tierra que se está labrando es cada vez más marginal, lo que significa menos productividad, erosión, desertificación y deterioro ambiental. A medida que la gente brega por cultivar y criar rebaños en las faldas del Himalaya o donde hasta hace poco hubo bosques tropicales en América Latina, o en la semiárida tierra africana de matorrales, perdemos terreno:

alrededor de 6 millones de hectáreas al año se convierten en desiertos y estamos perdiendo quizá dos veces esa cantidad de lo que queda de nuestros bosques. En total, alrededor de un tercio de la población del mundo vive ahora en países cuya superficie cultivable se está reduciendo. La única solución posible es cultivar de modo más inteligente la tierra fértil y recoger cosechas más grandes de cultivos mejorados.

Esta es exactamente la misión del CIMMYT y el GCIAl: mostrarnos cómo producir esas cosechas y cultivos. Sin embargo, el mundo no es un laboratorio donde se pueden controlar las condiciones y reproducir los resultados una y otra vez. Más bien, el mundo es un rompecabezas maravillosamente complejo, donde hay de hecho una gran distancia desde la causa al efecto y el resultado esperado de una intervención puede ser bloqueado o modificado por factores psicológicos, culturales, políticos, de motivación, financieros, climatológicos, etc., etc., etc.

Así pues, la investigación agrícola sobre los cultivos del Tercer Mundo es ciertamente esencial. Aquellos que trabajan para el CIMMYT o el GCIAl, o en una organización nacional o internacional de investigaciones, son en cierto sentido el gozne mediante el cual podremos abrir de par en par la puerta a un futuro sin hambre. No obstante, para pasar a través de esa puerta se necesita algo más que saber que el gozne funciona.

Los elementos del cambio agrícola

Para llegar a donde queremos estar, para vivir en un mundo bien alimentado en el año 2000, necesitamos abordar toda una serie de problemas cruciales además de la investigación. Necesitamos respuestas adecuadas a un sinnúmero de problemas de carácter principalmente social y político.

Por ejemplo, el aprovechamiento de la tierra, como dije antes, es de una importancia apremiante. Después de la lección de la crisis de Africa en los dos últimos años, no creo que exagere al decir que el aprovechamiento de la tierra

se nos presenta como una situación mundial de emergencia. Sin embargo, hay otra dimensión íntimamente relacionada, que es la cuestión de la distribución de la tierra.

A medida que crece la población, disminuye la cantidad de tierra de cultivo por persona. Los minifundios se dividen entre los hijos del agricultor, cada uno recibe una parcela demasiado pequeña para mantener a una familia, o todo pasa al hijo mayor, dejando a los otros como trabajadores sin tierra, probables emigrantes a los atestados tugurios urbanos, *favelas* y *bidonvilles*. Y la extensión de los predios tiende a aumentar gradualmente porque los grandes terratenientes, que pueden pagar la nueva tecnología, utilizan sus ganancias para comprar la tierra de aquellos cuya parcela es demasiado pequeña y que no pueden pagar la irrigación y los fertilizantes necesarios para las nuevas variedades de alto rendimiento.

En muchos lugares urge la reforma agraria para mantener cierto grado de equidad de empleo y estabilidad social. Sin embargo, la historia muestra cuán difícil es llevar a cabo dicha reforma, a pesar de los beneficios que ha traído, por ejemplo, en Corea y Taiwán. Los que tienen la mayor parte de la tierra por lo general tienen el mayor poder político e influencia y, puesto que los desposeídos están desorganizados y no tienen representación política, es muy difícil en verdad ver una solución política a este dilema, excepto en casos aislados y extraordinarios, a veces en el contexto de proyectos de ayuda.

Otro problema crucial, además del aprovechamiento y la tenencia de la tierra, es el crédito agrícola. Nuevamente, aquellos que ya tienen son los que cuentan con mayores probabilidades de recibir más. El gran terrateniente, próspero y afianzado en su sociedad, tiene acceso al sistema de crédito de ésta y puede invertir en la nueva tecnología con mucha más facilidad que el pequeño agricultor marginal. Y si las cosas son difíciles para

el pequeño agricultor, para la mujer del Tercer Mundo, la posibilidad de obtener un crédito es absolutamente nula, porque automáticamente queda excluida del sistema. No obstante, necesita el crédito y puede hacer buen uso de él -tal como lo muestra el éxito de una de las pocas iniciativas en este campo, la Banca Mundial de la Mujer. Hasta 1985, esta organización pionera había ayudado a 20 bancos en todo el mundo a facilitar miles de préstamos a mujeres, en su mayor parte de países en desarrollo. ¿Número de deudas incumplidas? Cero. Me da gusto informarles que, como parte del esfuerzo especial realizado por Canadá para ayudar a África a recuperarse de la crisis, estamos brindando CA\$3 millones para que la Banca Mundial de la Mujer incremente su labor en ese continente. No obstante, queda mucho por hacer.

La extensión es otro aspecto que se relaciona con el trabajo del CIMMYT y del GCIAl. A menos que se difunda el nuevo conocimiento entre los agricultores más pequeños, no rendirá sus máximos beneficios, y tal vez sólo aumente la brecha entre la población rural rica y los campesinos pobres. Sin embargo, la mayor parte de los servicios de extensión han tenido un desempeño que, en el mejor de los casos, no ha pasado de ser bastante irregular, y a menudo no cuentan con personal suficiente, están desorganizados y son eficaces. Necesitamos con urgencia sistemas eficientes para alcanzar la aldea más lejana y el campo más pequeño. No tiene mucho sentido invertir en conocimientos y luego no diseminarlos; deberíamos destinar tanto dinero y esfuerzo a difundir el mensaje como los que dedicamos a descubrir el mensaje.

El desarrollo de la comunidad es otro elemento clave para lograr una mayor producción de alimentos. Al mejorar la educación o la salud, el abastecimiento local de agua o la capacitación de los líderes locales, los esfuerzos para el desarrollo de la comunidad pueden eliminar algunas de las barreras y carencias que impiden a la población rural lograr todo lo que podría. Las



inversiones en lo que parecen áreas no relacionadas pueden de hecho impulsar la productividad, como se documenta en un estudio del Banco Mundial que muestra que un agricultor con sólo cuatro años de educación básica produce 8% más que un agricultor sin instrucción escolar, aún en lugares en los que no se dispone de insumos agrícolas. Así como hay vínculos negativos entre los sectores (un agricultor enfermo es un agricultor improductivo), también hay relaciones positivas. Entonces, esfuerzos como la iniciativa Africa 2000 de Canadá, que pretende tener en marcha 2000 proyectos de desarrollo rural a nivel de aldeas para fines del año próximo, con la amplia participación de organizaciones privadas y agrupaciones locales de Canadá, así como de organizaciones no gubernamentales de Africa y de concejos de aldeas africanas, son también parte del progreso hacia un mundo bien alimentado.

Los proyectos y los programas se diseñaron, se pusieron en práctica y se evaluaron (cuando en verdad hubo algún tipo de evaluación) como si el mundo sólo estuviera habitado por hombres, como si las mujeres sólo fueran *objetos* del desarrollo. Esto fue, considerándolo con benevolencia, muy poco inteligente, ya que las mujeres, en la realidad de la vida cotidiana, constituían no sólo la vanguardia en la guerra contra la enfermedad, la ignorancia y la malnutrición dentro de la familia, sino también una gran parte de la fuerza de trabajo agrícola; tanto, que es bastante realista decir que, en Africa, "agricultor" es un sustantivo femenino. Hubo demasiados casos de servicios de extensión que capacitaban a los hombres para el trabajo agrícola que hacen las mujeres, un error tan básico que sería gracioso sino fuera por el trágico despilfarro de recursos.

Hemos avanzado algo en los últimos años, en parte gracias al Decenio de las Naciones Unidas para la Mujer, a las conferencias internacionales relacionadas con él y al flujo de información, ideas y datos que contribuyó a generar. En la CIDA, en los últimos dos o tres años hemos avanzado con cierta rapidez en cuanto a incluir a las mujeres como elemento decisivo de los esfuerzos de desarrollo. De hecho, hemos pasado de un estado de creciente conciencia y buena disposición, a un punto donde la función de las mujeres, como agentes y beneficiarias, se analiza como parte integral de la planificación de cada proyecto, y al punto donde las Mujeres en el Desarrollo, el factor MED, es un elemento real en la descripción del puesto de funcionario de los proyectos, sujeto a las mismas exigencias de responsabilidad que cualquier otro factor importante. Espero que muchas otras instituciones y organizaciones para el desarrollo, al igual que la CIDA, se estén acercando con rapidez a la etapa en la cual les es difícil tomar en serio a cualquiera que pretenda comprender el significado del desarrollo, pero que aún pase por alto el papel clave de las mujeres.

Si alguien se propone modificar una sociedad, impulsar el progreso social y económico, pero sistemáticamente hace a un lado a la mitad de las personas que integran esa sociedad, no se requiere un análisis brillante para comprender que fracasará.

Mencionaré sólo uno más de estos factores que aparentemente no son agrícolas y que, en realidad, tienen una importancia decisiva para el progreso agrícola. Si alguien se propone modificar una sociedad para impulsar el progreso social y económico y, sistemáticamente, ignora a la mitad de las personas que integran esa sociedad, sencillamente las deja fuera de sus planes, no se requiere un análisis brillante para comprender que fracasará. No obstante, eso es exactamente lo que hicieron durante decenios los planificadores del desarrollo, con algunas honrosas excepciones, sobre todo entre las organizaciones privadas.

¿Por qué hablar de estos elementos del progreso agrícola -aprovechamiento de la tierra y reforma agraria, crédito, extensión, desarrollo de la comunidad, el papel de las mujeres- cuando no son fundamentales para el CIMMYT y el GICAI? Porque *deberían ser* preocupaciones muy activas tanto para las organizaciones como para las personas involucradas en ellas, ya sea el personal o quienes reciben capacitación.

Conformación de la investigación futura

Así pues, ¿qué cambiaría yo en la forma de efectuar el desarrollo y la investigación en los próximos 20 años?

Primero, avancemos más allá de la etapa de "No es *mi* responsabilidad asegurar que en realidad funcione". Chernobyl y Challenger han demostrado, una vez más, que es una insensatez depender de sistemas que no toman en cuenta las debilidades del ser humano. Desde luego que estos consejos pueden aplicarse en todas direcciones, a dependencias gubernamentales de ayuda y a los centros de investigación agrícola. Por ejemplo, fue un choque para los administradores de la asistencia y encargados de las políticas el hecho de que si no hubiera habido tanta ayuda alimentaria, la crisis en África no hubiera sucedido. Esperemos que el darse cuenta de esto sea el inicio de mayor sabiduría.

Yo sugiero que una de las principales consideraciones sea que las tecnologías y los sistemas de cultivo que emanen del trabajo de ustedes deberán promover aumentos en la producción agrícola que se puedan mantener a largo plazo desde el punto de vista ecológico, económico, cultural y social. No quiero decir que, además de realizar los milagros de la investigación, espero que resuelvan esos otros problemas. Lo que *sí* espero es que estén ustedes totalmente conscientes de todos los factores que moldean los resultados reales cuando se aplica su investigación, en parte porque una mejor comprensión les dará mayor influencia sobre ese proceso, y en parte para que puedan en verdad trabajar deliberada y

conscientemente para crear, desde el extremo donde se encuentran, los vínculos que se requieren entre la investigación agrícola y el más humilde campesino en el campo más pequeño. Se necesitan dos para establecer un vínculo.

Segundo, necesitamos dedicar más tiempo a escuchar a las personas que constituyen el objetivo de nuestros esfuerzos de desarrollo. Tenemos que reservar cierto tiempo para ir a las aldeas y a los campos a ver lo que en realidad está pasando. Tal vez por cada 100 horas que se pasen en la sala de conferencias o en el laboratorio, se deban pasar tres horas efectivas en la choza de un campesino o en una remota parcela de maíz. Después de todo, en las sabias palabras de Yogi Berra, "se puede percibir muchísimo con sólo observar". Y aún más mediante el diálogo, haciendo las preguntas adecuadas a personas que rara vez son escuchadas y cuyas vidas y futuros están en juego: si las cosas van mejor o peor, cuáles son las necesidades más apremiantes y qué tipo de ayuda sería más útil.

El CIMMYT cuenta con una trayectoria de 20 años de importantes contribuciones al bienestar del hombre en la batalla contra el hambre. Si yo tuviera que recomendar una agenda para sus próximos 20 años, diría: primero, que nos den más de lo que ya nos han dado, investigaciones que nos permitan obtener más alimentos a través de mejores cultivos y métodos; segundo, que den a los países en desarrollo aún más ayuda en su esfuerzo para fortalecer sus propios sistemas nacionales de investigación agrícola; y, por último, que nos ayuden a establecer esos vínculos necesarios entre sus investigaciones y el agricultor del Tercer Mundo. Y, para completar la obra, continuemos llevando la revolución verde al África.

Si parece mucho pedir, recuerden ...ya contribuyeron a que se produjera un milagro agrícola. Lo que ahora queremos es otro milagro: un mundo bien alimentado para el año 2000.

Comentarios

G.T. Castillo

Universidad de las Filipinas, Los Baños, Filipinas

Después de escuchar esta mañana a la presidenta de la Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional, los que pertenecemos al Tercer Mundo podemos confiar en que al menos parte de la ayuda para el desarrollo internacional está en manos de alguien que entiende el desarrollo definido en la forma más humana.

Como dice Soedjatmoko, de la Universidad de las Naciones Unidas: Hoy el mundo está experimentando un ensanchamiento de la brecha entre los que tienen fácil acceso a la información y los que carecen de él. El proceso de desarrollo es, en esencia, un proceso de aprendizaje. El desarrollo tiene éxito cuando una sociedad en su conjunto y en todos los niveles aprende a hacer uso óptimo de sus recursos, mediante la aplicación de la ciencia y la tecnología para mejorar la vida cotidiana de sus ciudadanos de manera congruente con sus valores y aspiraciones básicas.

Yona Friedman, una arquitecta independiente y muy famosa, dice que "Un requisito esencial para el progreso económico de un país es incrementar el acopio nacional de conocimientos aplicables. Tal incremento significa aumentar el nivel medio de conocimientos en lugar de fomentar los conocimientos refinados de una pequeña parte de la población"

Cuando pienso en lo podría ser posible, mi admiración se centra en los fitogenetistas (son mi gente preferida), quizá porque pueden actuar como Dios y yo no. Sus horizontes no tienen límites cuando consideran lo que es posible. ¿Por qué no podemos ver el desarrollo de los recursos humanos del mismo modo?

El modelo de transferencia de tecnología que evoca una imagen de transferencia unidireccional desde los centros internacionales a los sistemas nacionales de investigación agrícola y, por extensión, al agricultor, no es una representación muy exacta de la realidad ni un modelo atractivo de la colaboración entre programas nacionales y centros internacionales. Las circunstancias que rodean las investigaciones agrícolas y el cultivo en el Tercer Mundo no son las mismas que hace 20 años. Según

Mi concepto del desarrollo de recursos humanos implica el mejoramiento de la capacidad del ser humano y de su habilidad para aprovechar lo que el mundo le ofrece, de manera que no se encuentre en un estado de desventaja perpetua.

Permítanme comenzar esta discusión diciendo que en el sistema del Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (GCIAl) existen dos conceptos populares con los que no estoy muy conforme: 1) *la ventaja comparativa* y 2) *la transferencia de tecnología*. Tal vez es su candidez lo que me disgusta, pero aun así me pregunto cuánta desigualdad en nuestras sociedades respectivas y en el mundo en general se ha justificado, con o sin intención, en nombre de la ventaja comparativa. ¿Acaso no es la ventaja comparativa algo que se puede adquirir si se cuenta con oportunidades y recursos? Mi concepto del desarrollo de recursos humanos implica el mejoramiento de la capacidad del ser humano y de su habilidad para aprovechar lo que el mundo le ofrece, de manera que un individuo no se encuentre en un estado de desventaja perpetua. Durante el proceso, mejora su ventaja comparativa.

entiendo, *hasta el germoplasma* es de origen internacional y gran parte proviene de fuentes de diversidad de los países en desarrollo. Y aunque un sistema nacional de investigación puede ser muy débil, no es un vacío. Además, cuando los agricultores adoptan nuevas tecnologías, casi nunca las adoptan en la forma en la que se introdujeron. Esas tecnologías funcionan porque siempre les hacen adaptaciones convenientes a sus circunstancias particulares.

Ayer alguien mostró una diapositiva que presentaba los *centros internacionales* en el centro, con los programas nacionales girando a su alrededor. Mi percepción del mundo es algo diferente. Como dijo Margaret Catley-Carlson, "Menos del 5% de la investigación y el desarrollo del mundo se centra en las necesidades de las tres cuartas partes de la humanidad." ¿Qué tal si ponemos tres cuartas partes de la humanidad en el centro del universo, con los centros internacionales realizando sus actividades alrededor de ellas?

En muchos sentidos, ya hemos hecho lo más fácil. A medida que avanzamos de los medios de producción favorables hacia los más desfavorables y de los agricultores mejor dotados hacia los de menos recursos, se vuelve cada vez más problemático llegar a un buen ajuste entre la estación experimental y las condiciones agrícolas reales. Además, la explotación agrícola con un solo cultivo es sustituida por toda una gama de sistemas con una combinación de cultivos, ganado y árboles para fines diversos, incluyendo fuentes de ingresos anexas y no relacionadas con la labranza. Por cierto, es muy raro el agricultor que cultiva sólo maíz, trigo o arroz, incluso en condiciones favorables de cultivo. Por otra parte, un solo cultivo como el maíz tiene usos múltiples tales como alimento humano, alimento animal y combustible. En qué medida los centros internacionales de investigación agrícola se reúnen para abordar toda la gama de sistemas de cultivo de la vida real, en lugar de ocuparse cada uno de

su componente específico del establecimiento pequeño, de modo que el CIMMYT aporta maíz, trigo o triticale; el IRRRI, arroz; el CIP, papa y así por el estilo. ¡El mundo real no se ajusta a las misiones específicas de los centros!


Además de todas estas complejidades, estamos a la vez preocupados por cuestiones no sólo de la productividad sino también de equidad, empleo, sostenibilidad y estabilidad.

Como se dijo en el No. 17 de *CIMMYT Hoy*, "Ni la manipulación más experta de germoplasma de maíz es una garantía de que los agricultores adoptarán las variedades o híbridos resultantes y lograrán una diferencia notable en su producción e ingresos".

La comprensión de este hecho gradualmente da lugar a la adopción de criterios que acercan la investigación a las condiciones agrícolas reales, "con el fin de entender mejor los problemas y las necesidades de los agricultores y actuar como un instrumento para desarrollar tecnología que satisfaga esas necesidades". Como lo expresó un científico que realiza investigación en campos: "Uno se tiene que convertir en un observador tan cuidadoso como lo son los agricultores, cosa que no es fácil si se tiene en cuenta que sus conocimientos sobre el maíz son increíbles. Yo crecí en esta región y antes me jactaba de conocerla bien. Pero en el proyecto de investigación en campos, me he dado cuenta de lo mucho que ignoraba y tengo la oportunidad de remediarlo".

También se ha planteado que "parte del valor del trabajo sobre el terreno es que integra la sabiduría y experiencia de los agricultores al proceso del desarrollo de tecnologías".

Aunque este hermoso edificio de capacitación es admirable, me preocupa un poco que las personas que se capacitan pasen demasiado tiempo dentro del edificio y no el suficiente



afuera en el campo. El ser originario de un país en desarrollo, aun cuando se haya obtenido un título de especialista en agricultura, no garantiza que haya tenido mucho contacto con las explotaciones agrícolas, los agricultores y la agricultura. Por ejemplo, estudios en las Filipinas revelaron que la mayoría de los técnicos en el manejo de las explotaciones agrícolas y los funcionarios encargados del control de plagas en dos provincias no habían tenido experiencia directa en el cultivo del arroz.

El vocabulario actual hace hincapié en términos como "sobre el terreno", "sistemas de cultivo", "participación de los agricultores", "actividades conjuntas entre los que desarrollan y los que difunden la nueva tecnología", etc. La palabra clave es *pertinencia*. Si lo que hacemos no es pertinente, entonces no importa con cuánto rigor lo hayamos hecho.

El ser originario de un país en desarrollo, aun cuando se haya obtenido un título en agricultura, no garantiza que se haya tenido mucho contacto con las explotaciones agrícolas, los agricultores y la agricultura.

Estas ideas tienen implicaciones de largo alcance para las estrategias de desarrollo de recursos humanos, que abarcan desde el agricultor al investigador, al funcionario de los servicios de extensión y al que establece las políticas. Fomentar el espíritu científico entre los agricultores, estimular entre los científicos una orientación hacia los agricultores e inculcar en quienes establecen las políticas la comprensión y las actitudes adecuadas, constituyen el reto que habrá que afrontar en el próximo decenio.

La literatura sobre la revolución verde está repleta de informes positivos y negativos sobre sus repercusiones en el

crecimiento, la equidad y el empleo, pero casi nadie menciona que los cambios tecnológicos han conducido a una nueva era de agricultura basada en la ciencia, que ha llevado a los agricultores a concebir y administrar sus campos de labranza en una forma nueva. Podría haber sido una revolución verde en los campos de los agricultores, a veces con resultados variados, pero mucho más positiva, profunda y duradera por su trascendencia es la "intrusión de la ciencia" en la mente de los agricultores. Esta intrusión, en combinación creativa con los métodos antiguos y la sabiduría acumulada, permite a los agricultores aplicar la nueva tecnología.

A modo de ejemplo, uno de los primeros estudios efectuados poco después de lanzar la primera variedad IRRI reveló que los agricultores que cultivaban variedades nuevas y antiguas las trataban de manera diferente. A las primeras les dedicaban mucha atención y cariño; a las segundas las dejaban a la buena de Dios. Otro ejemplo interesante del deseo de mantenerse actualizados es el caso de un agricultor que, cuando se le preguntó qué tipo de variedad usaba, respondió "IR20". Pero, cuando se le preguntó: "¿Por qué utiliza IR20? ¿No hay chicharrita café aquí?", su respuesta fue: "¿Chicharrita café? ¿Qué es eso? Me gustaría tenerla también".

Un trabajador de extensión con mucha experiencia observó también que los agricultores que han estado en contacto con nuevas tecnologías y las han adoptado se aburren en los cursos para agricultores si el tema que se trata es muy elemental. En consecuencia, él cree que deberíamos interactuar con los agricultores en el "Nivel III", en lugar del "Nivel I". Los agricultores no sólo están interesados en el *qué* y el *cómo*, también quieren saber el *por qué*.

Lo que ahora esperamos es que se produzca un proceso complementario de "intrusión del agricultor" en la mente de los científicos, de modo que su investigación satisfaga las necesidades de los agricultores de escasos recursos

(muchos de los cuales son mujeres), ya sean simplemente labradoras, coadministradoras del cultivo, administradoras absolutas, quienes toman las decisiones en los asuntos que se relacionan directa o indirectamente con el cultivo, o usuarias de la tecnología y sus derivados.

Los informes disponibles sobre investigaciones en la India, Bangladesh, Filipinas y Nepal indican que la mayoría de las mujeres que intervienen en las

actividades de cultivo están deseosas de participar en la capacitación relacionada con la agricultura, a pesar de llevar un ritmo de vida muy intenso. Piensan que encontrarán el tiempo para hacerlo. Como dijo la esposa de un agricultor filipino, "aprender la nueva tecnología agrícola es más interesante que hacer el trabajo de la casa". ¿Qué hay de malo en definir a las mujeres como miembros de la raza humana, aptas para el desarrollo de recursos humanos?

Fortalecimiento de programas nacionales de investigaciones agrícolas

P.R.N. Chigaru

Departamento de Investigaciones y Servicios Especializados, Ministerio de Tierras, Agricultura y Reasentamientos Rurales, Harare, Zimbabwe

Al tratar este tema, supongo que se espera que, en mi calidad de líder del sistema nacional de investigaciones de un país en desarrollo, exponga mis opiniones acerca de cómo los centros internacionales de investigaciones agrícolas, en conjunto, podrían alcanzar más eficazmente las metas establecidas de fortalecer los programas nacionales de investigación agrícola de los países en desarrollo. Sin embargo, debo confesar desde el principio que me encuentro limitado al respecto, porque creo que no tengo nada nuevo que ofrecer, ya que éste ha sido el tema central de muchos seminarios, talleres y conferencias, así como de numerosos artículos y libros.

Los últimos esfuerzos que conozco en ese sentido incluyen el informe de las discusiones de un grupo *ad hoc* reunido en Bellagio, Italia, en enero de 1986, en las que se consideraron las estrategias futuras del sistema del GCIAl, a la luz del Estudio de Prioridades del CAT y el Estudio de las Repercusiones del GCIAl. En estas discusiones se habló acerca de la necesidad de perfeccionar los criterios del GCIAl para determinar las prioridades de investigación del sistema.

En febrero de 1986, también participé en las deliberaciones de los centros internacionales de investigación agrícola acerca de la investigación sobre los sistemas de cultivo, en un taller que se llevó a cabo en el Instituto Internacional de Investigaciones sobre Cultivos para los Trópicos Semiáridos (ICRISAT). Una de las preocupaciones de esta reunión era la necesidad de que los centros internacionales desarrollaran una estrategia común de cómo ayudar a grupos nacionales a realizar la investigación en campos o de sistemas de cultivos. Asimismo, el grupo de trabajo del SPAAR para la Preparación de Pautas para las Estrategias Nacionales de Investigación Agrícola en África al Sur

del Sahara, elaboró un proyecto de documento en junio de 1986, acerca de las Pautas para Fortalecer los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola en África al Sur del Sahara. Entiendo que la versión final de este documento será presentada en el SPAAR en octubre.

Existen dos aspectos fundamentales en toda discusión acerca del fortalecimiento de los programas nacionales de investigación agrícola. Primero, se reconoce que los programas o sistemas nacionales de investigación dependen de los centros internacionales y sus donantes. En segundo lugar, los objetivos de los programas y proyectos de investigación de los centros, y de hecho los de los programas nacionales de investigación, son los agricultores de un determinado país. En consecuencia, se presume que las actividades de investigación de los centros complementan las de los grupos nacionales de investigación.

En este marco, se considera que cada centro internacional de investigación agrícola posee ventajas comparativas gracias a su capacidad de reunir a científicos internacionales experimentados en lugares clave de todo el mundo, y de movilizar información, tecnología, germoplasma y otros materiales a través de fronteras internacionales. En contraste, la comparativa ventaja de los grupos nacionales de investigación reside en su capacidad de realizar investigación de adaptación necesaria para producir recomendaciones que se ajusten a determinados lugares y situaciones agrícolas específicas. No obstante, expresada de esta forma simplista, parecería que la relación entre los centros internacionales y los programas nacionales de investigación podría reproducirse en el caso de cada centro y en cada país en desarrollo.

Por desgracia, esta situación es mucho más compleja en la vida real. Hay dos razones que explican esto. Por una parte, las actividades de cada centro y los enfoques que han adoptado varían mucho dada la naturaleza diversa de los mismos centros y las orientaciones que el sistema les ha impuesto. Los centros son grupos heterogéneos que trabajan con diferentes productos y problemas y que, en muchos casos, pueden dedicarse a diferentes regiones del mundo. Por la otra, los programas nacionales de investigación también presentan una diversidad extrema a causa de las diferencias entre las etapas de desarrollo económico de cada país, el tamaño y densidad de la población, sus existencias de recursos humanos y naturales y la disponibilidad de tecnología. Además, las condiciones agrícolas, los sistemas políticos y las ideologías son muy heterogéneas y tienen una influencia directa o indirecta sobre el desarrollo agrícola en general y sobre las investigaciones agrícolas en particular.

Por lo tanto, resulta claro que sería inútil intentar generalizar a escala mundial el modo de fortalecer los programas nacionales de investigación agrícola. En lo personal, tengo poca experiencia directa sobre el desarrollo agrícola en Asia y América Latina y sobre los sistemas de investigación agrícola que se han creado en estas regiones.

Por consiguiente, sería tonto que tratara de formular juicios acerca de cómo fortalecer esos sistemas. No obstante, la literatura que he leído, en especial el Estudio de las Repercusiones del GCIAl, me lleva a pensar que los sistemas de investigaciones agrícolas de Asia y América Latina están relativamente más adelantados que los de África al Sur del Sahara. Al parecer han crecido con rapidez en los dos últimos decenios y realizan contribuciones cada vez más eficaces al desarrollo agrícola de esas regiones. En cambio, África al Sur del Sahara sigue siendo la única región del mundo donde va en descenso la producción de alimentos per cápita. También es la única zona donde el

crecimiento demográfico supera la tasa de producción. De hecho, entre 1970 y 1984, la producción de alimentos en África aumentó en una proporción de apenas la mitad de la tasa de crecimiento demográfico, que fue de 3.2% al año. Por lo tanto, dadas estas razones y el hecho de que soy africano, espero que ustedes acepten que me sienta obligado a dedicar el resto de mi ponencia a examinar las investigaciones agrícolas en África y el modo de fortalecerlas mediante la colaboración de centros internacionales de investigación y donantes.

No obstante, y a pesar de lo que dije antes, estoy seguro de que algunos de los problemas que enfrentan los programas africanos también se presentan en Asia y América Latina. Del mismo modo, existen numerosas lecciones que los administradores y científicos de los programas africanos pueden aprender de esas dos regiones y viceversa. Así pues, aunque África busca la asistencia de los centros para fortalecer sus programas nacionales de investigación, también puede beneficiarse por medio del estudio de situaciones en países tales como la India y Brasil, no sólo para conocer la forma en que han progresado en la senda del desarrollo y la investigación agrícola, sino también para evitar sus errores.

En la segunda parte de esta ponencia, se destacan algunos de los problemas que afronta la agricultura africana, incluyendo la forma en que esfuerzos pasados han tratado de abordar esos problemas. La tercera parte es el núcleo de la ponencia, y en ella se examinan los principales problemas que requieren atención en el proceso de fortalecer los programas nacionales de investigación agrícola. Concluyo haciendo algunas sugerencias acerca del enfoque que los centros del GCIAl y la comunidad internacional deben adoptar en sus esfuerzos para ayudar a África a solucionar sus problemas agrícolas. Para tratar estas cuestiones, he utilizado ampliamente la información básica y los informes sobre el progreso del programa del SPAAR.



Problemas centrales

Las buenas cosechas obtenidas en 1985 y 1986 han cambiado de manera dramática la perspectiva de alimentos a corto plazo en la mayoría de los países africanos. Pero a pesar de este beneficioso giro de los acontecimientos, subsisten cuatro problemas a largo plazo:

- La carrera entre la producción de alimentos y el crecimiento demográfico;
- La falta de trabajo en las zonas rurales;
- Pobreza, malnutrición e inseguridad alimentaria generalizadas, y
- La necesidad de diversificación agrícola e industrialización rural.

Es indispensable que los países africanos formulen estrategias que les permitan incrementar con eficiencia su producción de alimentos.

Eicher *et al.* (1986) describen detalladamente estos problemas en una serie de artículos sobre África al Sur del Sahara en general y la región africana meridional en particular. Las tasas actuales de crecimiento demográfico en África fluctúan entre el 2.5 y el 4.1%, lo que implica que la población puede duplicarse en 15 ó 25 años. Esta rápida tasa de crecimiento demográfico aumenta la presión sobre los suministros de alimentos y los recursos naturales. En muchos estados, el crecimiento de la población y de los ingresos generarán necesidades alimentarias que exigirán que la producción de alimentos crezca del 4 al 5% anual. Sin embargo, desgraciadamente, los antecedentes históricos indican que sólo unos pocos países han podido mantener una tasa de crecimiento anual de la producción de alimentos del 3 al 4% por un período de diez o más años. En consecuencia, es estrictamente necesario que los países africanos formulen estrategias que les permitan incrementar con eficiencia su producción de alimentos.

Los otros problemas centrales mencionados antes se derivan de este importante problema del crecimiento demográfico superior a la producción de alimentos. También está el hecho de que alrededor del 70% de la población africana vive en las zonas rurales, como resultado de la incapacidad de los sectores industrializados, urbanos y de servicios para generar empleos adecuados. La FAO estimó que aproximadamente una cuarta parte de la población sufría hambre y malnutrición en 1985. El hambre y la malnutrición en las zonas rurales son causados principalmente por uno o más de los siguientes factores:

- Las familias no tienen acceso a la tierra para producir los alimentos necesarios;
- La baja productividad del trabajo familiar en la explotación agrícola de subsistencia;
- La inestabilidad de la producción de alimentos causada por la sequía, y
- La pobreza impide que las familias adquieran alimentos apropiados en el momento oportuno.

Con respecto a la diversificación y la industrialización rural, se observa que muchos países africanos tienen el potencial para cubrir las necesidades de cereales de su población en el futuro previsible. Sin embargo, una diversificación más allá de los cereales es conveniente y constituye un proceso inevitable a largo plazo. Es necesario invertir considerablemente en las investigaciones agrícolas para sentar las bases de una diversificación gradual hacia otros cultivos que no sean cereales. Esta inversión en investigaciones debe asignarse ampliamente a cultivos alimentarios apoyados por los centros, otros que no son apoyados por los centros como frutas y verduras, cultivos comerciales, la piscicultura, etc. También es necesario hacer hincapié en los problemas de la fertilidad del suelo, el manejo del suelo y el agua, incluidos el riego, la silvicultura, la climatología, etc.

Fortalecimiento de la capacidad de los sistemas africanos de investigación

Estrategias nacionales de investigación

Se reconoce que todos los países africanos necesitan cierta capacidad de investigación. Los países más pequeños necesitan la capacidad de probar y adaptar variedades y tecnología de los programas regionales o internacionales; los más grandes necesitan un sistema de investigación completamente desarrollado. Sin embargo, el principal problema en la actualidad es que la mayor parte de los sistemas africanos de investigación, cuando los hay, están en decadencia y producen menos resultados útiles que en el pasado. De hecho, existen casos en los que los sistemas nacionales de investigación suelen formar un cuello de botella en el proceso continuo de la investigación básica y la adaptación y aplicación de la nueva tecnología a nivel de fincas.

Es difícil solucionar el problema de la dimensión óptima de un sistema nacional de investigación y de la cantidad de financiamiento que requiere. Muchos sistemas nacionales africanos de investigación absorben una parte mayor del PIB agrícola que sus homólogos asiáticos, más eficaces. La mayoría tienen mucho más personal capacitado y recursos físicos que hace 20 años. No obstante, con pocas excepciones, en ese lapso su eficiencia ha declinado. Gran parte del problema se deriva del crecimiento mal orientado y del crecimiento que lleva a una situación insostenible. Estos problemas no pueden resolverse simplemente aumentando los recursos financieros de los sistemas. La estrategia, la calidad de la investigación, la capacidad administrativa y de sostenimiento financiero son de primordial importancia.

Con las tremendas restricciones en cuanto a recursos que enfrentan los países africanos, es crucial establecer prioridades en los requerimientos de investigación dentro del marco de una

estrategia nacional de investigación agrícola. Dicha estrategia no debe formularse aisladamente, sino adaptarse a la estrategia nacional de desarrollo agrícola que se haya acordado. Debemos aceptar que la mayoría de los países no pueden permitirse programas "óptimos". Por lo tanto, es necesario realizar grandes esfuerzos para decidir cuáles actividades de investigación deben llevarse a cabo con los medios existentes, cuáles requerimientos de la investigación se pueden "importar" y cuáles deben postergarse para el futuro. El proceso de la toma de decisiones es a menudo doloroso, tanto más porque los donantes con frecuencia pueden ofrecer su ayuda para ciertas actividades de investigación. Es grande la tentación de aceptar dicha ayuda, pero la posibilidad de sostenimiento de los recursos humanos y financieros debe ser el principio orientador.

Por consiguiente, el corolario es que, al estructurar las estrategias de investigación agrícola, algo que muchos países africanos no han hecho, los problemas de posibilidad de sostenimiento y la capacidad de absorción son de gran importancia. La capacidad de absorción incluye el problema de la capacidad administrativa. Cuando se juzgue que la capacidad administrativa nacional es débil, los programas y estructuras nacionales de investigación deben mantenerse pequeños y muy concentrados. La posibilidad de sostenimiento está relacionada con la escala. Existen presiones institucionales, en particular de donantes y centros, para ampliar los proyectos. Esas presiones son particularmente fuertes cuando el crecimiento desequilibrado de componentes específicos del sistema de investigación ha creado ciertas desproporciones. Una forma sencilla de corregir esto es hacer que todo lo demás crezca para ponerse al día. Sin embargo, esta solución implica un verdadero peligro de crear un gran sistema que no se pueda sostener.



Organización financiera y aspectos administrativos

A veces se subestiman las repercusiones de los aspectos financieros, administrativos y de organización en las investigaciones agrícolas, porque los administradores y planificadores de la investigación son principalmente especialistas técnicos. No obstante, el aspecto financiero es uno de los criterios más importantes en relación con el tamaño y la eficiencia de los programas de investigación. Es necesario otorgar fondos en forma sostenida para utilizarlos de la manera más eficaz en función del costo. Para lograr esto, hay que hacer un análisis cuidadoso de todas las fuentes y aplicaciones de los fondos.

En consecuencia, los sistemas africanos de investigación necesitan que los fondos para la investigación agrícola provenientes de fuentes nacionales aumenten continuamente. En la actualidad, demasiados países han tomado el camino fácil y utilizan la ayuda de donantes para compensar el déficit de los fondos nacionales para investigación. Si bien esto es aceptable a corto plazo, es preciso tomar precauciones para asegurar que dichos fondos "fáciles" no conduzcan a la distorsión de las prioridades nacionales. Antes de recibir los fondos de donantes para componentes de la investigación, hay que realizar una cuidadosa evaluación y determinar si esto se ajusta a la estrategia de investigación agrícola y cómo afecta al servicio agrícola nacional en su totalidad.

Hasta ahora, uno de los peligros del financiamiento por donantes ha sido su habitual orientación a corto plazo. Sin embargo, me complace hacer notar que la comunidad internacional de donantes en conjunto ya ha reconocido que serán necesarios 10 ó 20 años, o incluso más, para que los sistemas nacionales africanos de investigación lleguen a ser eficientes y eficaces.

Con respecto a la asignación de fondos para la investigación, es preciso abordar los siguientes problemas:

- Equilibrio entre fondos nacionales y de donantes;
- Equilibrio entre las asignaciones para las investigaciones básicas, aplicadas y de adaptación;
- Equilibrio entre las asignaciones para la investigación y para los servicios de apoyo, y
- Equilibrio entre los costos de personal y los gastos de investigación.

Un análisis del último punto en la mayoría de los sistemas africanos de investigación, desde la independencia, revela un mecanismo aparentemente integrado que hace que, en el transcurso del tiempo, aumente el porcentaje correspondiente a sueldos en el presupuesto total, mientras que disminuyen los componentes que no son sueldos. Esto no es un problema fácil de resolver, ya que será difícil para los gobiernos reducir el personal y todo aumento salarial general en los empleos públicos debe ser absorbido. Sin embargo, ya es hora de efectuar un análisis de esta situación y la mayoría de los países en desarrollo se beneficiarían con pautas sobre cuáles son las medidas óptimas respecto a los salarios en comparación con otros gastos.

Repercusiones generales de las investigaciones regionales e internacionales

La mayoría de los científicos africanos reconocen el importante papel que desempeñan los centros internacionales de investigación en África. Su participación se vuelve cada día más manifiesta. Sin embargo, los centros no siempre pueden responder positivamente a las necesidades de algunos países ni participar en ciertos proyectos o componentes de la investigación financiados por donantes. Esto se explica por las siguientes razones:

- Los centros no consideran que su función sea brindar servicios consultivos o constituir una fuente de asistencia técnica;


- A veces no se comprende bien, o se malinterpreta, la misión de los centros y, por tanto, se espera de ellos más de lo que pueden hacer, y
- Casi todos los centros sufren restricciones financieras y de recursos humanos que les dificultan cumplir plenamente su misión. Por ejemplo, el Centro Internacional de Producción Pecuaria de Africa (ILCA) y el Instituto Internacional de Agricultura Tropical (IITA) tienen misiones ambiciosas que abarcan todo el continente, pero, sin recursos extras, son incapaces de dar servicio a las diversas zonas agroecológicas del continente africano dentro de los límites del presupuesto de que disponen.

Por lo tanto, es importante considerar si los centros pueden aumentar su eficiencia y la cobertura de las zonas agroecológicas africanas, así como mejorar su capacidad de respaldar los sistemas nacionales de investigación por medio del establecimiento de subcentros regionales. Este es un tema frecuente del GCIAI en la actualidad. El ICRISAT ha tomado el liderazgo en este aspecto al establecer programas regionales en el Sahel y Africa Meridional. El CIMMYT ha descentralizado sus actividades regionales en la investigación en campos en Africa oriental y meridional, y ha comenzado una investigación conjunta sobre el maíz para zonas de altitudes medias en Africa meridional. El ILCA tiene propuestas para establecer centros regionales en Africa occidental francófona y en Africa meridional. Es probable que estos centros regionales proporcionen un mejor enfoque de los problemas relacionados con las diferentes zonas agroecológicas de Africa y determinen los puntos centrales alrededor de los cuales se puedan crear redes. Estos esfuerzos merecen estímulo. Sin embargo, antes de establecer subcentros regionales, hay que realizar una cuidadosa planificación, tener una clara comprensión de las prioridades vinculadas con la disponibilidad de fondos y hacer un examen de las ventajas comparativas de los centros internacionales frente a los sistemas nacionales.

Existe consenso en que los centros del tipo del GCIAI funcionan mejor si tienen misiones claras y restringidas. Es pertinente preguntarse si son necesarios más centros para respaldar los esfuerzos nacionales de investigación en toda Africa con el fin de explotar todas las oportunidades de aumentar la producción de alimentos y los ingresos agrícolas. Al parecer existen dos lagunas bien definidas. La primera se relaciona con los cultivos comerciales de exportación tales como el té, el café y el algodón. La segunda tiene que ver con ciertos "factores", como la fertilidad del suelo o el manejo del agua y las tierras.

Se sugieren dos métodos para llenar estas lagunas. En primer lugar, no hay que desdeñar la posibilidad de crear nuevos centros (del tipo de los del GCIAI) con misiones restringidas y con instalaciones para la investigación. Segundo, merece ser considerada la creación de redes especializadas con personal altamente calificado y poco numeroso, instalaciones de documentación, programas de publicación y fondos para superar los cuellos de botellas en la realización de seminarios y esfuerzos locales de investigación. El programa del SPAAR debe dar gran prioridad a la identificación de esas lagunas y de las instituciones o redes regionales existentes, que podrían reunirse para llenar las lagunas.

En relación con lo anterior, es necesario fomentar las organizaciones regionales como el Centro de Africa del Sur de Cooperación para la Investigación Agrícola (SACCAR). El SACCAR surgió de la iniciativa de los nuevos estados de la Conferencia para la Coordinación del Desarrollo de Africa del Sur (SADCC) y tiene su sede en Botswana. Su director es un experimentado profesor e investigador de la región y los directores de investigación agrícola de los nueve países, incluyendo dos decanos de facultades de agricultura y dos directores de servicios de extensión agrícola, forman parte de su consejo administrativo. La función principal del SACCAR, que cuenta con una pequeña secretaría, es promover la cooperación



entre los investigadores agrícolas del SADCC mediante seminarios, talleres, reuniones, intercambio de publicaciones, pequeños subsidios a la investigación y viáticos para que los investigadores visiten a otros científicos de la región.

Conclusiones

A lo largo de mi exposición, he tratado de destacar los que en mi opinión son los principales problemas respecto al fortalecimiento de los programas de investigación agrícola en Africa. Sin embargo, creo que el problema más importante es el desarrollo de una estrategia nacional de investigación agrícola que se vincule con un plan nacional de desarrollo agrícola. Si se formula esa estrategia de modo realista, tomando en cuenta la totalidad de los problemas que aquejan al sector agrícola en general, entonces los otros aspectos menos trascendentes que afectan el desarrollo de un sistema eficiente de investigaciones agrícolas necesariamente caerán por su propio peso. Me refiero en particular a la necesidad de establecer un marco de políticas adecuadas, que permitan que un determinado sistema de investigación cuente con:

- Desarrollo y administración de personal sólidos, incluyendo la capacitación de los recursos humanos y los incentivos para retenerlos; y
- Fuertes vínculos con los servicios de extensión, instituciones de capacitación y otros organismos relacionados con el desarrollo de los sectores rurales y agrícolas.

A este respecto, me complace en hacer notar que los centros internacionales de investigación y la comunidad de donantes prestan más atención a estas actividades complementarias de extensión, divulgación de información, fortalecimiento de las facultades locales de agricultura de las universidades y de los vínculos entre las facultades y los sistemas de investigación agrícola. Es inútil crear una capacidad de investigación que no es funcional por carecer de dichos vínculos.

Bibliografía

- Chigaru, P.R.N. y Avila, M. (1986). "Farming systems research experience in Eastern y Southern Africa". Trabajo presentado en el Taller del IARC sobre Investigaciones de Sistemas de Cultivo en el ICRISAT, Hyderabad, India.
- Eicher, C.K. (1986) "Food security research priorities in Sub-Saharan Africa". Discurso de fondo en el Simposio Internacional sobre la Sequía, organizado por la Organización de la Unidad Africana/ Comisión de Investigaciones Científicas y Técnicas/SAFGRAD, Nairobi, Kenya, mayo de 1986.
- Grupo de Trabajo del SPAAR para la Preparación de Pautas para Estrategias Nacionales de Investigación Agrícola en Africa al Sur del Sahara. 1986. Proyecto de documento sobre las pautas para fortalecer la investigación agrícola nacional en Africa al sur del Sahara.

Comentarios

A. von der Osten

**Servicio Internacional para la Investigación Agrícola
Nacional, La Haya, Países Bajos**

En primer lugar, quisiera felicitar al CIMMYT por su vigésimo aniversario. Me siento muy honrado de participar en este acontecimiento y haber sido invitado para comentar el trabajo de Philip Chigaru. El tema de su trabajo, además de ser uno de mis favoritos, es fundamental para los objetivos del Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional (ISNAR).

Comenzaré mis comentarios sobre el trabajo de Philip diciendo brevemente cuáles son sus virtudes y por qué me agrada.

- Es práctico y realista; refleja los conocimientos de un director de investigaciones, que ha acumulado experiencia a lo largo de los años y dirige uno de los sistemas más avanzados y complejos en África al Sur del Sahara. En todo el mundo se conocen los logros obtenidos por el Departamento de Investigación y Servicios Especializados (DRSS) de Zimbabwe.
- El documento trata en forma bastante amplia un tema complejo.
- Selecciona y enfoca con claridad los aspectos clave que intervienen en la organización de una institución.
- Está basado en un concepto muy claro. Como base del análisis que hace Philip de las limitaciones esenciales que enfrentan los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola (SNIA), hay un marco conceptual que identifica las funciones cruciales que tienen que desempeñar los SNIA para alcanzar el éxito. Aprecio el esfuerzo de Philip, porque soy una persona que ha luchado por desarrollar un marco conceptual que oriente

nuestros criterios operacionales para organizar instituciones de investigación en el ISNAR.

- Philip sitúa su análisis en el contexto más amplio del sistema mundial de investigaciones que está en proceso de desarrollo. Por lo tanto, aborda el tema de la complementación y la división del trabajo entre los diversos integrantes de dicho sistema: SNIA, centros internacionales de investigación agrícola (CIIA) y donantes.
- El documento tiene una cobertura amplia. Philip limita su análisis al contexto africano. Afirma que ignora la situación en Asia y América Latina. No obstante, al enfocar los problemas funcionales clave que enfrentan los sistemas de investigación africanos, aborda también los problemas básicos relacionados con la consolidación de las capacidades de investigación en todo el mundo. Esas funciones básicas se aplican a cualquier sistema, cualesquiera que sean la localización geográfica, dimensiones, dotación de recursos y grado de desarrollo de la institución.
- Por último, el documento de Philip se orienta hacia la acción; no sólo nos proporciona material para reflexionar, sino también elementos básicos para la acción futura.

Puesto que me agrada el documento, como acabo de exponer en forma algo extensa, que no difiero con ninguna de las opiniones de Philip y no puedo señalar ninguna discrepancia fundamental, mis comentarios se relacionarán con tres aspectos:

- Destacar y reforzar unos cuantos temas clave, basándome en nuestra experiencia en el ISNAR,
- Ampliar algunos puntos, y
- Centrar la discusión en lo que yo llamaría una agenda de acción. Los tres grupos de participantes a quienes se dirige esta agenda, están aquí representados: SNIA, CIIA y donantes. Tal vez quieran responder a las opiniones de Philip.

Bases para crear una institución

Comenzaré planteando unas preguntas: ¿Cuáles son las cuestiones fundamentales que debemos considerar en nuestro esfuerzo por organizar instituciones? ¿Qué se requiere para que un sistema de investigaciones tenga éxito? ¿Cuáles son las necesidades de los SNIA?

Como señaló Shahid Husain el lunes pasado, se necesitan cuatro ingredientes básicos:

- Un concepto: una meta y una estrategia claramente definidas;
- Dinero: los recursos para alcanzar esa meta;
- Personal: la capacidad científica para realizar los programas, y
- Administración: la capacidad institucional para organizar el sistema, desarrollar un programa coherente y utilizar con eficacia los recursos disponibles para alcanzar esa meta.

Los cuatro factores son importantes, están relacionados entre sí y la falta de cualquiera de ellos puede ser una seria limitación. Su importancia relativa tiende a cambiar con el tiempo.

En los sistemas de investigación más reciente, en particular los africanos, suelen escasear estos cuatro factores. Lo que viene a complicar aún más las cosas es que, por lo general, el crecimiento y la evolución de los SNIA es

desequilibrado. Por ejemplo, gracias a la capacitación masiva que realizan los CIIA y otras organizaciones, en algunos países se desarrolla bastante bien el personal científico. En Africa, la proporción de profesionales con doctorados que forman parte del personal incluso ha alcanzado niveles semejantes a los de Asia o América Latina. No obstante, hay que reconocer que esos científicos son más jóvenes y menos experimentados.

Sin embargo, la principal dificultad radica en la falta de los recursos de operación necesarios, ya que éstos no aumentan en la misma proporción. Si bien el flujo de fondos provenientes de donantes es impresionante en ciertos casos, la mayoría de esos fondos se orientan a inversiones de capital. Y, como señala Philip, si faltan recursos de operación, aún los buenos científicos no pueden realizar un trabajo productivo. Todo esto, aunado al nivel por lo general bajo de capacidad de administración, explica, entre otras cosas, la productividad relativamente escasa de muchos sistemas africanos de investigación.

Varios sistemas más desarrollados, en América Latina por ejemplo, enfrentan hoy problemas similares con los mismos efectos. Con el tiempo, han consolidado una sólida base científica, una firme estructura institucional, el apoyo presupuestario de fuentes nacionales y capacidad de administración. Los problemas que ahora enfrentan son financieros: inestabilidad del apoyo proporcionado por las fuentes nacionales y serias fluctuaciones de los fondos.

No es necesario ahondar en los efectos de esta situación:

- Una seria distorsión de la combinación de recursos de los sistemas, acompañada en algunos casos de una disminución de la proporción de fondos de operación que llegan a representar sólo el 5% de los recursos totales;
- La consiguiente disminución de la productividad general del sistema; y, por último,

- Un serio peligro para el personal científico del sistema, ya que los mejores elementos lo abandonan para buscar mejores oportunidades de trabajo en otra parte y el sistema corre el riesgo de degradarse o, incluso, desintegrarse.

Una agenda de acción

Todo lo anterior me lleva a la agenda de acción para fortalecer los SNIA, que sugerí como tema de discusión. Philip nos ha dado los elementos. Las preguntas que quiero hacer son las siguientes:

- ¿Estamos de acuerdo con las cuestiones que él plantea?
- ¿Qué pasa con la importancia relativa de las tareas resultantes?
- ¿Qué podemos y qué debemos hacer en el sistema del GCIAI, además de las actividades actuales, para apoyar a los SNIA?
- ¿Debemos reconsiderar y reorganizar nuestro método de trabajo con los SNIA para cubrir sus necesidades?

Por supuesto, mis preguntas van más allá del CIMMYT, conciernen al sistema del GCIAI en su totalidad. El CIMMYT es un actor importante en esta área y, como nos ha dicho Don Winkelmann, el Centro hace hincapié en la relación con los SNIA en todos sus programas.

Antes de presentarles un resumen de los principales elementos de esta agenda, permítanme recordarles cuatro conceptos que es importante tener en mente durante la discusión. Philip señaló estos aspectos y también surgieron en las discusiones que se han llevado a cabo en este seminario:

- Los patrones cambiantes en la demanda de tecnología. Los SNIA deben reorientar sus programas para abordar los problemas del mañana que, por supuesto, serán diferentes. Ed Schuh y otros nos han dicho por qué.

- La creciente diversidad de las necesidades y potenciales de los SNIA, tanto en las distintas regiones como en una misma región. Tendremos que hacer frente a eso. El rico se hace más rico y el pobre, más pobre.

- El hecho de que ciertos asuntos y problemas son comunes. En particular, en las áreas de políticas de investigación, organización y administración, los problemas tienden a ser los mismos en muchos países.

- El flujo de recursos hacia los SNIA. Es necesario que estemos conscientes de los considerables recursos que se dirigen hacia los SNIA. Philip señaló adecuadamente los problemas de la capacidad de absorción y del mantenimiento a largo plazo de los SNIA a partir de recursos nacionales una vez que el flujo de ayuda haya terminado.

Volviendo a la agenda, veamos primero los requisitos de acción por parte de los SNIA. Son los participantes clave en una asociación mundial en desarrollo. Sus necesidades, potenciales y problemas determinan en gran medida la respuesta de los Centros.

Después de escuchar la exposición de Philip, he señalado siete puntos fundamentales:

- Lograr el compromiso nacional con la investigación agrícola;
- Desarrollar estrategias nacionales de investigación;
- Determinar las dimensiones y orientación de los SNIA;
- Consolidar la base de personal científico;
- Establecer prioridades de investigación;

- Aumentar la productividad de los sistemas de investigación, y
- Crear vínculos e intensificar la colaboración científica.

Me referiré brevemente a cada uno de estos aspectos.

Lograr que haya un compromiso nacional con la investigación agrícola, es, desde mi punto de vista, la clave del éxito a largo plazo.

Lograr el compromiso nacional con la investigación agrícola, es, desde mi punto de vista, la clave del éxito a largo plazo. En muchos países, este compromiso es muy débil. No se reconoce el papel de la investigación agrícola y su contribución potencial al desarrollo y el progreso, lo que provoca que sea escaso el apoyo político en cuanto a financiamiento, se dependa excesivamente de los fondos externos y se utilice dinero abundante con bajos tipos de interés, con todas las consecuencias que esto implica. Esto significa comprar tiempo y posponer las decisiones difíciles que muchos países asiáticos tomaron hace mucho en momentos de crisis. Los CIAs pueden ayudar a abordar estos problemas. El CIMMYT ha sido pionero en esta área con su programa de seminarios sobre las políticas de investigación.

El desarrollo de las estrategias nacionales de investigación está estrechamente relacionado con el logro de un compromiso nacional con la investigación agrícola. Como nos lo explicó Philip, esas estrategias son un factor esencial para el éxito. Brindan un marco conceptual para orientar la consolidación de capacidades de investigación, determinan el objetivo principal de los programas, guían la utilización de los escasos recursos y proporcionan un marco para canalizar los recursos externos hacia las áreas de

mayor prioridad nacional. Contribuyen a evitar el peligro de las distorsiones que Philip señaló con tanta elocuencia (el problema del dinero abundante).

La viabilidad a largo plazo de los sistemas de investigación es un aspecto importante para determinar las dimensiones y la orientación de los SNIA. Philip destacó que la consolidación de capacidades de investigación debe estar orientada por una evaluación realista de lo que es factible y puede sostenerse con los recursos nacionales. Con mucha frecuencia observamos planes demasiado ambiciosos de desarrollo de estaciones y capacitación de personal que, a la larga, no es posible mantener. De igual forma, es necesario ser realista al decidir lo que puede hacer un programa o un sistema. Debemos reconocer las limitaciones. Muchos de los sistemas pequeños tendrán que concentrarse en la investigación de adaptación y en la importación de tecnología. En conjunto, podemos contribuir en este aspecto y brindar el asesoramiento que necesitan los SNIA.

Es obvia la importancia crucial de consolidar y mejorar constantemente la base de personal científico de los SNIA. Si bien los Centros pueden hacer y han hecho contribuciones importantes a los tres puntos mencionados con anterioridad, ésta es el área donde su aporte tendrá mayores repercusiones. Y al considerar el futuro, hemos escuchado mucho en este seminario acerca de los planes del CIMMYT para afrontar las crecientes necesidades de sus compañeros.

Es evidente la necesidad de definir con exactitud las prioridades de investigación para guiar la distribución de los escasos recursos. Y, no obstante, esto constituye una deficiencia en la mayoría de los SNIA, deficiencia que los hace vulnerables a las influencias externas y las distorsiones en sus programas. Además, la mayoría de los SNIA no están bien equipados para la tan necesaria interacción con el sector que define las políticas. Deben crear sus propias capacidades en cuanto al análisis

económico y político. Esta es la base para el flujo recíproco de información: informar al sector que establece las políticas acerca de las opciones de tecnología y traducir las prioridades del desarrollo nacional en programas pertinentes de investigación. Esto conducirá a mejorar elecciones. De nuevo, ésta es un área en la que el CIMMYT ha realizado importantes contribuciones y, presumiblemente, continuará haciéndolas. Me inclino a estar de acuerdo con la petición que hizo Ed Schuh de dedicar más atención a este punto en el sentido más amplio.

Aumentar la productividad de los sistemas de investigación es otra área importante. La clave de una investigación productiva son los conocimientos científicos sólidos. Para que éstos den resultados, necesitamos condiciones adecuadas, necesitamos organización y administración. Creo que la mayoría estamos de acuerdo (si no fuera así, no estaría aquí en representación del ISNAR) en que se puede y se debe hacer mucho para fortalecer las capacidades de organización y administración de los SNIA.

En términos prácticos, esto significa:

- Ajustar las estructuras organizativas de los SNIA para adaptarlas a las circunstancias del país,
- Planear y programar mejor para aumentar la calidad y pertinencia de los programas de investigación, y
- Aprovechar y administrar con más eficacia los recursos del sistema del GCIAI: personal, fondos y estaciones.

Esta es otra área importante a la que contribuyen la mayor parte de los Centros, y en especial el CIMMYT en cuanto a la administración de estaciones. En el ISNAR, concentramos nuestro programa en estos aspectos.

Son evidentes los beneficios de crear vínculos e intensificar la colaboración científica. En efecto, colaboramos, pero


podemos hacerlo mejor, en particular en lo que respecta a la colaboración horizontal entre los SNIA. Philip mencionó dos medios para lograrlo: redes de investigaciones en colaboración y organismos subregionales como el Centro de Africa del Sur de Cooperación para la Investigación Agrícola (SACCAR). Creo que ambos mecanismos pueden contribuir sustancialmente a la consolidación de capacidades nacionales. Proporcionan un instrumento para que los SNIA más fuertes ayuden a los más débiles y, al mismo tiempo, se beneficien. Gracias a su participación en el CONOSUR (ahora PROCISUR, Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur) y en otras redes, el CIMMYT tiene gran experiencia en esta área. Sin duda, en el GCIAI deseamos contribuir más a la promoción de tales organismos.

Consideremos ahora los centros y sus relaciones con los SNIA. Los centros realizan contribuciones importantes en las siete áreas que mencioné. En términos generales, su contribución incluye el germoplasma, procedimientos de investigación en colaboración, asistencia técnica, capacitación, análisis de políticas y organización de instituciones (en sentido restringido). En conjunto, se reconoce que estas contribuciones son útiles para el fortalecimiento de las capacidades nacionales. Los centros conciben su colaboración con los SNIA como una relación entre los integrantes de una asociación.

Necesidades y demandas futuras

Al considerar las necesidades y demandas futuras, creo que los SNIA se preparan para los retos que afrontarán. Permítanme darles dos ejemplos:

El primero es la evolución de los programas de capacitación de los centros. Al descentralizar la capacitación en las áreas secundarias del proceso de investigación, los centros responden a las necesidades masivas de los SNIA más débiles. Al mismo tiempo, continúa



cubriendo las necesidades de los sistemas más avanzados, que requieren capacitación en las áreas más importantes, cercanas a los límites de la ciencia.

El segundo ejemplo es la tendencia a integrar más los sistemas. Los centros, antes una débil federación de instituciones individuales, se acercan cada vez más, unen sus fuerzas y buscan una respuesta común a las necesidades de los SNIA. La mejor muestra de esto es la iniciativa reciente de un centro de establecer un grupo de trabajo que estudie las formas y los medios para responder con mayor eficacia a las apremiantes necesidades de los SNIA en Africa al Sur del Sahara. Esto está de acuerdo con una de las sugerencias que hace Philip en su trabajo.

Los centros se acercan cada vez más, unen sus fuerzas y buscan una respuesta común a las necesidades de los sistemas nacionales de investigación agrícola.

Quisiera hacer un último comentario acerca de las expectativas de los SNIA con respecto a la contribución de los donantes a la organización de instituciones. Philip señaló diversos aspectos relacionados con este tema y creo que *sí* se ha progresado:

- Se reconoce la necesidad de apoyo a largo plazo para la organización de instituciones, y los donantes adoptan gradualmente una perspectiva a un plazo más largo;
- El problema de la influencia de los donantes sobre las prioridades nacionales se resolverá gradualmente a medida que los países planeen a largo plazo y establezcan una estrategia coherente de investigación;
- Aún no se ha solucionado la imperiosa necesidad de fondos de operación, pero los donantes la reconocen cada vez más. Se ha progresado en ese aspecto. Por último,
- Se dedica mucha atención en la actualidad al problema de la coordinación entre donantes. Son ejemplos de esto la iniciativa del Programa Especial para la Investigación Agrícola Africana (SPAAR) así como los consorcios de donantes a nivel nacional.

Finalmente, quiero rendir homenaje al CIMMYT por su enfoque progresivo del fortalecimiento de los programas nacionales. El CIMMYT siempre ha hecho hincapié en los conceptos de asociación y complementación basados en una ventaja comparativa. Ha estado cerca de los programas nacionales y de los agricultores, como ya ha demostrado en sus programas de investigación en campos. Sé que aún nos falta mucho que hacer, pero confío en que el CIMMYT continuará siendo uno de los líderes en nuestro esfuerzo conjunto para ayudar a que los SNIA consoliden sus capacidades nacionales. En el ISNAR, estamos muy orgullosos de formar parte de ese proceso.

La investigación en el CIMMYT: Multiplicación de los logros

D.L. Winkelmann

Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, El Batán, México

Se han considerado muchas ideas durante los últimos dos días. Antes de contemplar lo que éstas implican para el CIMMYT, deseo examinar brevemente varios aspectos duraderos de nuestra historia y comentar algunos de los cambios que han ocurrido en los pasados 20 años. Estos factores contribuyen a hacer del CIMMYT un organismo semejante, pero diferente del que era en 1966. A continuación compartiré con ustedes mi visión del futuro, que incorpora muchos de los conceptos presentados en este simposio. Quiero agregar que en 1987, en combinación con una Revisión de Programas Externa, formularemos un plan quinquenal. Es aquí donde se sentirá la mayor influencia de los intercambios que han tenido lugar durante este taller.

Una mirada al pasado

Características

Dado que el CIMMYT surgió de un esfuerzo conjunto de la Fundación Rockefeller y del Gobierno de México, nuestro personal en 1966 estaba compuesto de veteranos muy experimentados. Ese personal ha incrementado y su composición y asignación geográfica han cambiado; aún así, ciertos aspectos siguen siendo lo que fueron en esos primeros años. Estas son las características que identifican al Centro.

En primerísimo lugar, la naturaleza del CIMMYT de hoy es muy semejante a la de los primeros tiempos. Sus elementos esenciales son el énfasis en el trabajo de campo, en la participación directa del investigador, en un pragmatismo basado en las necesidades de los agricultores, y en los beneficios y obligaciones de una asociación abierta con la red mundial de científicos que comparten los mismos


principios. Como en sus comienzos, las actividades del CIMMYT se siguen apoyando en estos conceptos.

En segundo lugar, a todo lo largo de nuestra historia hemos desempeñado nuestra función en coordinación con los programas nacionales que constituyen la clientela del Centro. Nos consideramos un elemento complementario de la labor de los programas, y les ayudamos en sus esfuerzos por servir a sus clientes, los agricultores. Esta tarea la realizamos proporcionándoles germoplasma, capacitación, procedimientos de investigación, asesoría e información.

La naturaleza del CIMMYT de hoy es muy semejante a la de los primeros tiempos.

En tercer lugar, es bien sabido que el Centro está más allá de la política y se le da el trato correspondiente. A lo largo de los años siempre ha respondido a las necesidades de los programas nacionales sin las limitaciones que cada donante podría haberle impuesto. Hace mucho tiempo que los programas nacionales reconocen esta postura y comparten recursos a través del CIMMYT, pues confían en la voluntad que el Centro tiene de compartirlos con ellos. Esta imparcialidad es una característica permanente del CIMMYT y la resultante confianza es una de sus cualidades más preciadas.

En cuarto lugar, al igual que otras organizaciones del sistema GICAI, apreciamos las claras ventajas de los amplios horizontes y el enfoque preciso de nuestra investigación. Esta



combinación de factores nos da paciencia y cuidado en la realización de temas de investigación bien definidos y contribuye notablemente al éxito del Centro, como también contribuyó a los éxitos de nuestros predecesores.

Finalmente, nuestro proceso evolutivo está condicionado por el compromiso de efectuar investigación multidisciplinaria. Sabemos que existe una gran ventaja en la combinación de disciplinas; por tanto, la practicamos y se la recomendamos a los programas nacionales.

Así pues, éstas son las características que hacen al CIMMYT de hoy semejante al de 1966.

Impactos

Todos ustedes conocen las contribuciones sustanciales que el CIMMYT ha hecho mediante el germoplasma—en la actualidad, cerca de 70 millones de hectáreas se cultivan con variedades derivadas de los esfuerzos del CIMMYT y de su predecesor. Sin embargo, quizá no estén ustedes al tanto de nuestros otros aportes a la agricultura de los países en desarrollo. Alrededor de 4,000 investigadores de los programas nacionales trabajan de manera más eficaz gracias a las impresiones y conocimientos que adquirieron en los cursos que el CIMMYT patrocina. Además pueden apoyarse en el creciente acervo de técnicas y procedimientos de investigación, fruto de la experiencia que el Centro ha acumulado en la investigación y el adiestramiento. Los procedimientos y la capacitación ayudan de manera notable a los esfuerzos de los programas nacionales.

Si bien las hectáreas de tierra cultivada, los investigadores capacitados, los nuevos métodos y las asociaciones productivas reflejan el impacto de muchos años de esfuerzos, no constituyen el impacto total. De igual importancia, aunque más difícil de evaluar, es la influencia en el espíritu y en las actitudes. Hoy día, el conocimiento del impacto potencial de la investigación agrícola define las actitudes

de las personas a cargo del desarrollo y políticas económicas. Después de vislumbrar el potencial de la investigación, los encargados de la toma de decisiones están cada vez más abiertos a los argumentos a favor de la inversión en el sector agrícola—en su infraestructura, en el establecimiento de políticas racionales y en el fortalecimiento de la investigación. Esta actitud positiva acrecienta las posibilidades de cambio dentro del sector.

Nuevos puntos de vista

A la vuelta del tiempo, nuestra percepción de la investigación agrícola y del desarrollo del sector ha evolucionado. Anteriormente, la sabiduría convencional veía la agricultura como fuente de recursos que podían canalizarse a otros fines más productivos. El punto de vista actual es que la agricultura en sí puede causar un crecimiento cada vez mayor dentro de las comunidades rurales y urbanas en los países en desarrollo. Los ingresos de los que poseen la tierra y el capital agrícola y de los que proveen la mano de obra aumentan como consecuencia de una productividad incrementada por nuevas tecnologías. Un ingreso mayor favorece gastos adicionales, los que, a su vez, inducen a los que los reciben a gastar aún más. El sector agrícola es el que inicia estos ciclos de crecimiento. Esta percepción, con su énfasis en la productividad de los recursos, tiene implicaciones para la asignación de los recursos de la investigación, implicaciones que los actuales administradores de la investigación aún exploran.

En estos años se han producido cambios en el tipo de asociaciones que el CIMMYT sostiene con los programas nacionales; dichos cambios han dado mayor prominencia a la función de los programas. En la generación de germoplasma se distribuyen mayores cantidades de materiales segregantes que antes, y un mayor volumen de recursos se destina a proyectos conjuntos que abordan determinados problemas; como ejemplos citamos la

investigación conjunta con Brasil para crear trigos tolerantes al aluminio y con investigadores tailandeses para generar maíz resistente al mildiú veloso. En la agricultura, la balanza se ha apartado de la búsqueda directa de tecnologías para zonas específicas y se ha inclinado hacia un adiestramiento más intenso de los científicos de programas nacionales con el fin de capacitarlos para diseñar nuevas tecnologías más eficaces que beneficiarán a los productores.

El CIMMYT ha dedicado mayor atención a sus propias prioridades y, como consecuencia, ha obtenido un entendimiento más exacto de las demandas relativas de los diferentes tipos de maíz y trigo. Los doctores Arnold y Borlaug destacaron este punto en sus ponencias que, por otra parte, quedó implícito en uno de los retos enfocados por el Presidente Husain. Ambos programas de cultivos están en proceso de designar los principales ambientes o "macroambientes" y de calcular la extensión relativa de cada uno de ellos. Esta labor brindará al CIMMYT un sentido más exacto de las necesidades de sus clientes y, por tanto, de sus propias prioridades.

Cada vez se dedica mayor energía a fortalecer las aptitudes de los programas nacionales mediante la capacitación en las técnicas de la investigación, en la identificación de problemas y en el establecimiento de prioridades. Por supuesto que en el pasado estas actividades ya eran objeto de atención, pero a la vuelta de los años, se les ha dado un impulso cada vez mayor, sobre todo con el inicio de los programas regionales del Centro a mediados de los 70 y su expansión en la última década.

Todo esto manifiesta que el CIMMYT es una institución que combina la constancia en sus características con la fluidez de sus actividades a medida que las circunstancias y la experiencia acumulativa abren el paso a nuevas oportunidades. Seguimos siendo una organización actualizada con tradiciones que perduran.


El futuro

Y ¿qué pasará en el futuro? ¿Cuáles serán los temas del mañana? En primer término, consideremos algunas de las circunstancias que darán forma a nuestro ambiente.

La creciente solidez de los programas nacionales presenta nuevas oportunidades para el sistema GCIAI mediante la recombinação de recursos y tareas.

El ambiente del mañana

Primero, reconocemos lo importante que es para nuestra labor el impulso que en la actualidad se le da a la productividad. Asimismo, reconocemos que el creciente comercio internacional en productos agrícolas tiene implicaciones que deben orientar la investigación de los programas nacionales y, por ende, nuestras actividades. Apreciamos la importancia y dificultad de identificar la ventaja comparativa en las economías abiertas de hoy día. El Dr. Schuh resaltó estos aspectos en su conferencia. Observamos que algunos programas nacionales van adquiriendo mayor fuerza y estamos conscientes de que esto presenta nuevas oportunidades para el sistema GCIAI mediante la recombinação de recursos y tareas. Estamos convencidos de que las nuevas ciencias traerán consigo nuevas oportunidades para complementar las estrategias convencionales. Tenemos la esperanza de que las políticas nacionales favorecerán mayores inversiones en investigaciones bien orientadas, con un juicio que se basa más en la biología y los recursos disponibles que en el capricho o la equivocación. Finalmente, comprendemos que si se dan los índices de desarrollo económico esperados, una proporción cada vez mayor de nuestros productos se destinará al consumo animal y afectará en forma marcada la demanda de maíz y trigo.



En vista de lo anterior, ¿hacia adónde se encaminará la labor del CIMMYT? ¿Cuáles aspectos de nuestra agenda de investigación mostrarán el mayor cambio? Mi propio sentido del equilibrio que va surgiendo en nuestra agenda sugiere modificaciones en las relaciones de trabajo, germoplasma, ciencias nuevas, mejoramiento de los recursos humanos y nuestra labor en África.

Relaciones de trabajo

El CIMMYT mantiene una amplia gama de relaciones de trabajo con programas nacionales, con instituciones, con organismos de asistencia para el desarrollo y con individuos. Me parece probable que las relaciones actuales continúen en el futuro, algunas con mayor relevancia, y otras con menos. Asimismo, surgirán nuevas relaciones bajo otras formas. Ahora deseo presentar tres formas que quizá sean prominentes en la próxima década.

Un ejemplo de la primera forma es una asociación que tiene que ver con el virus del enanismo amarillo de la cebada. Si bien este virus puede afectar el rendimiento de manera muy marcada, su impacto por lo general es reducido, aunque frecuente y regular. Este virus fue identificado en 1951, pero no se hizo mucho esfuerzo cooperativo antes de los 70.

La conferencia a nivel mundial que se llevó a cabo aquí en 1980 ayudó a establecer una red internacional de investigadores que trabajan en varios aspectos de la enfermedad, desde el interés en los mecanismos del virus y de la resistencia mediante la selección hasta la evaluación de germoplasma. Varios donantes han financiado la red, aunque el gobierno italiano ha sufragado la mayor parte de los costos actuales. Un miembro del personal del CIMMYT actúa como nexo entre los investigadores y hace efectivos los resultados por medio de nuestro programa de trigos harineros de primavera y el programa de mejoramiento de cebada del ICARDA. Lo más atractivo de la red es su amplia variedad de disciplinas científicas, la

manera en que se comunican los hallazgos, la participación de los investigadores de países tanto industrializados como en desarrollo (cada uno hace aportaciones según las ventajas particulares), y sus estrechos lazos con los programas de mejoramiento activos. Esperamos que en el porvenir habrá un mayor número de estas redes que reunirán elementos de la comunidad científica mundial para que aborden un problema en particular y mantengan fuertes nexos con fitomejoradores activos.

Una red semejante está en proceso de planificación —semejante en el sentido de que cuenta con la participación de científicos de varios países y sus esfuerzos se centran en un problema determinado, aunque menos extendido, geográficamente hablando. Una manera de aplicar esta red sería abordar problemas—como malezas, fertilidad, salinidad, estructura y aptitud cultivable del suelo—que son inherentes a mantener los aumentos de rendimiento en tierras bajo un cultivo cada vez más intenso, con rotaciones de arroz/trigo, desde Pakistán hasta Bangladesh. En esta aplicación, el enfoque va más allá de la agronomía y la generación de tecnología, pues abarcará (mediante la ciencia) las relaciones implícitas en las que se apoyan los rendimientos sostenibles. Estas redes podrían planificar investigaciones conjuntas, dividir problemas de acuerdo con las áreas de competencia, compartir datos y análisis, y garantizar la calidad profesional y técnica de la investigación en sí.

Una tercera forma implicaría la transferencia de algunas de las actividades que en la actualidad realiza el CIMMYT a programas nacionales bien establecidos. Gran parte de dicha transferencia ya se ha dado y la agronomía adaptiva y aplicada en la generación de tecnología ya está en manos de los programas nacionales; cabe agregar que una proporción cada vez mayor de los viveros del Centro, sobre todo los de trigo, está compuesta por variedades creadas por los programas nacionales. Sin embargo,

existe la posibilidad de que actividades adicionales se trasladen a los programas nacionales. Por ejemplo, algunas personas señalan que la capacitación para los científicos de una región determinada podría ser impartida por los programas más avanzados de esa región. En este caso, la función del CIMMYT consistiría en suministrar material didáctico y apoyo al personal docente. Seguramente que a muchos de ustedes se les ocurrirán otros ejemplos. El CIMMYT explorará más a fondo esta forma y considerará, junto con los programas nacionales y el GCIAI, la viabilidad y conveniencia de dichas transferencias.

El CIMMYT y todos los centros internacionales de investigación agrícola desempeñan una función crítica (que creo se subestima) en muchas de estas redes. Esta función se basa en la percepción de que los centros no sólo son eficaces, sino verdaderamente equitativos en la distribución de materiales e ideas. Esta convicción es esencial para la efectividad de las redes y para la productividad continuada del sistema GCIAI.

Ciencia nueva

Todos estamos conscientes de los sorprendentes avances que se han dado en la ciencia, puesto que biólogos moleculares, bioquímicos y otros científicos han aplicado sus hallazgos a los problemas del fitomejoramiento. El Centro ha aprovechado estos descubrimientos en forma deliberada y ha establecido relaciones profesionales y de consulta con los dirigentes de éste y otros campos afines.


La razón de este proceder es que, al igual que otras instituciones, estamos impresionados por las ventajas latentes de las nuevas técnicas y creemos prudente tomar las medidas necesarias para garantizar el acceso a los resultados según vayan ocurriendo. Una de estas medidas consiste en agregar un biólogo molecular a nuestro personal y, con el tiempo, activar la infraestructura física y organizacional necesaria para respaldar las actividades que prevemos.

Nuestro pensamiento respecto a la inversión que el CIMMYT debe hacer en las ciencias nuevas se ve afectado por tres consideraciones: primero, utilizamos las técnicas que otros crean, pues somos usuarios más que forjadores de herramienta; segundo, tenemos que asegurar que el CIMMYT será capaz de emplear los hallazgos al fitomejoramiento aplicado conforme éstos se vuelvan aplicables; tercero, reconocemos que, más allá de los requerimientos del Centro, los programas nacionales dependen de nosotros para garantizar el acceso a las nuevas técnicas que podrían utilizar en su labor.

Reconocemos que, más allá de los requerimientos del Centro, los programas nacionales esperan que nosotros les aseguremos el acceso a las nuevas técnicas biotecnológicas.

Nuestro actual trabajo cooperativo utiliza las nuevas técnicas del fitomejoramiento, sobre todo el cultivo de tejidos, y se centra en encontrar nuevos modos de mantener y multiplicar los híbridos que resulten de nuestros programas de cruza amplias; en la labor con callos para inducir el rompimiento de cromosomas, y en el uso de la electroforesis para identificar el grado de transferencia genética que ocurre mediante las cruza intergenéricas e interespecíficas. La investigación actual apunta a transferir características de especies silvestres afines al maíz y al trigo. Las condiciones de enfermedad y estrés son nuestra preocupación especial. Estos esfuerzos compaginan bien con el optimismo del profesor Frey.

En nuestra opinión, hay otra nueva tecnología valiosa que al parecer es aplicable a la labor del CIMMYT: el uso de sondas genéticas. Estas se podrían emplear para seleccionar grandes cantidades de material en el laboratorio, reduciendo la necesidad de extensos experimentos en el campo; para el



diagnóstico, como por ejemplo, en confirmar la presencia de un virus, y para evaluar el éxito de la transferencia de material genético ajeno. Además, quizá exista la posibilidad de que nos convirtamos en el repositorio de este tipo de sondas y clones a medida que las vayamos creando nosotros u otras instituciones en todo el mundo.

Si bien los científicos que trabajan en la aplicación de esta nueva ciencia al fitomejoramiento han prometido grandes resultados, es aconsejable la prudencia. Por ejemplo, aunque ahora es posible transferir y fusionar genes, todavía no se determinan las funciones de los genes del maíz y el trigo. Por otra parte, la regeneración en la actualidad es más un arte que una ciencia. Hasta que no se realicen estas tareas, las técnicas de la fusión genética tendrán una aplicación muy limitada en el trabajo del CIMMYT.

Tenemos bases para proceder lentamente en este proceso. Aun así, me impresiona el grado al que las principales compañías privadas de fitomejoramiento se han comprometido en este campo; algunas de ellas informan que destinan entre 10 y 15% de sus recursos de investigación a la biotecnología. Por otra parte, recordamos la observación de Thomas Huxley respecto a que "lo más usual es que una verdad recién descubierta comience por ser una herejía y termine en superstición".

Según la opinión general, la biotecnología es un campo de acelerado avance. Por tanto, debemos organizarnos de tal manera que estemos seguros de saber cuáles hallazgos son útiles para llenar nuestros requerimientos y así podamos incorporarlos prontamente. Esto requerirá no sólo un conocimiento experto de la biotecnología y de lo que tiene aplicación práctica en el fitomejoramiento convencional, sino también un grado suficiente de afinidad y familiaridad con esta ciencia para que un suministro científico aumentado encuentre la demanda correspondiente. Los pasos que estamos siguiendo están diseñados para lograr estos fines. Al

igual que Lloyd Evans, vemos que el fitomejoramiento continuará desempeñando una función central y, hasta donde sea conveniente, deseamos incrementar su eficiencia mediante herramientas nuevas y pertinentes.

Germoplasma

Como en el pasado, el producto primordial del CIMMYT será el germoplasma. Nuestro trabajo con este material ha tendido a centrarse en los ambientes más favorables de los países en desarrollo, sobre todo en el trigo, donde gran parte de la atención se ha enfocado a las zonas con un suministro adecuado de agua. Cabe subrayar que en el pasado este énfasis fue correcto, en vista de que cerca de dos terceras partes del trigo de primavera en el Tercer Mundo se cultiva en este tipo de ambiente. En contraste, la mayor parte del maíz tropical se siembra en condiciones ambientales adversas y las zonas con agua suficiente se ven afectadas por enfermedades y plagas de insectos, en tanto que las áreas más áridas están sometidas a los efectos devastadores de la sequía. El avance general en trigos harineros, trigos duros, maíz y triticale ha sido desde notable hasta extraordinario. Y, ¿qué decir del futuro?

Al decidir lo que enfatizaremos en el porvenir, debemos reconocer la importancia de los ambientes favorables mientras satisfacemos (de acuerdo con el documento del CAT sobre las prioridades en 1986) las necesidades de los ambientes más difíciles. Debemos integrar los diversos efectos que tienen en el desarrollo económico las nuevas tecnologías, la mayor productividad y los ingresos incrementados, así como también la probabilidad de lograr resultados.

En cuanto a la investigación de trigo para zonas con un suministro adecuado de agua, se hará hincapié en mantener lo que ya hemos logrado. De manera más general y si los otros factores siguen siendo iguales, se dedicará mayor atención a los materiales para ambientes

difíciles. En este caso compartimos la opinión del Dr. Frey más que la del Dr. Evans. Aún en el caso de que los probables logros fueran menores en los ambientes difíciles, la preocupación por los agricultores de recursos más limitados, junto con la percepción de que ellos son los que suelen habitar estos ambientes, serían causa suficiente para impulsar la investigación en estas áreas. Debo agregar que aún no podemos hacer aseveraciones respecto a los efectos finales (después de aumentar gastos) de determinados cambios en la productividad de los dos tipos de ambientes. El buscar evidencia de la extensión relativa de estos parámetros debe ser una alta prioridad para los economistas.

En el presente se trabaja en seleccionar materiales que puedan tolerar la sequía. Hace varios años se inició esta labor en el Programa de Maíz, luego fue abandonada y ahora vuelve a recibir un énfasis considerable. Es interesante notar que este tipo de investigación muestra que el maíz seleccionado tanto en condiciones de sequía como con un suministro de agua adecuado tiende a comportarse mucho mejor en condiciones de sequía y algo mejor con un suministro de agua adecuado que el maíz que sólo ha sido seleccionado con un suministro de agua adecuado. La investigación de trigo harinero de primavera, trigo duro y triticale también está muy avanzada. Esperamos buenos resultados en vista de la cantidad de recursos que hemos invertido.

Hay que hacer notar que no se ha llegado a un consenso sobre la manera más expedita de enfocar el efecto de la sequía en los cereales de granos pequeños. En la medida en que el desacuerdo puede dar lugar a la formulación de hipótesis, anticipamos que nuestros esfuerzos aguzarán nuestro entendimiento del mejor modo de realizar este trabajo y generar material genético mejorado. Los problemas de suelos limitan la productividad gravemente en varios ambientes importantes donde se cultivan el maíz y otros cereales de


grano pequeño. Va muy adelantada la labor, en estrecha colaboración con especialistas en trigos brasileños, sobre los trigos harineros que toleran niveles tóxicos de aluminio. Asimismo, se ha echado a andar un trabajo semejante en maíz, con la cooperación de varios programas latinoamericanos.

Por otra parte, en la investigación de trigo para ambientes tropicales se ha logrado un avance sorprendente. Un aspecto de esta labor incluye la resistencia a enfermedades que, si bien son usuales en dichos ambientes, no son muy frecuentes en las tradicionales zonas trigueras. Además se efectúa selección para obtener, en los trigos, un grado más elevado de tolerancia al calor en la última parte del ciclo de cultivo, lo que probablemente beneficiará a ciertas zonas que ya producen este grano.

Tanto en maíz como en trigo se trabaja para lograr la madurez precoz, pues ofrece dos ventajas: primero, permite que el cultivo no se vea sometido a las enfermedades, el calor y la sequía; segundo, permite un cultivo más intensivo, lo cual implica que los productores tendrán mayor número de opciones.

En sus intentos por lograr estas metas—madurez precoz, tolerancia al calor, a la sequía, y a los suelos deficientes, así como nuevos tipos de resistencia a las enfermedades—los mejoradores del CIMMYT a menudo colaboran directamente con los programas nacionales interesados. Estas relaciones se ampliarán y fortalecerán a medida que incrementa este tipo de actividad.

Al evaluar estas líneas de trabajo, estamos convencidos de que, por medio de la investigación a nivel de la explotación, podemos lograr un conocimiento más profundo de lo que es esencial para establecer prioridades y políticas, y que además estamos invirtiendo en la adquisición del conocimiento necesario. El combinar estas percepciones con las de un punto de vista más universal debe ayudarnos a



nosotros y a nuestros colegas de los programas nacionales a tener un sentido más preciso de las prioridades.

Antes de examinar las posibles asignaciones al adiestramiento, es menester reafirmar la continuidad de ciertos componentes. Me refiero en especial a los programas de los cursos en servicio en fitomejoramiento. Es evidente la clara ventaja de realizar este tipo de capacitación en México, como se ha hecho hasta ahora. Un elemento esencial en este juicio es que los niveles actuales de participación están muy cerca de los que se requieren para satisfacer las demandas de los países en desarrollo. Esto no significa que podamos llenar todas estas demandas completamente; las vacantes como consecuencia de las jubilaciones o de la rotación de personal asegurarán que siempre habrá necesidad de este tipo de capacitación. Sin embargo, nuestra capacidad anual se aproxima a las necesidades anuales medias de nuestros países clientes. Hay fuerte evidencia de que los programas que se llevan a cabo en México son efectivos y proporcionan este tipo de adiestramiento.

No obstante, debemos encontrar la forma de multiplicar las energías invertidas en la capacitación en agronomía y en la generación de tecnología. La demanda de este tipo de conocimiento en los países en desarrollo es enorme si se le compara con las capacidades de adiestramiento de los centros internacionales de investigación agrícola. Hemos progresado en esta dirección ampliando nuestra capacitación en los países. Con el tiempo esperamos que una mayor proporción de estos cursos pasen a las manos de los programas nacionales o que se ofrezcan a nivel regional auspiciados por los programas nacionales más avanzados. Si esto ocurre, el CIMMYT suministraría los planes de estudios, materiales didácticos, asesoría sobre cómo realizar la capacitación y, en ocasiones, la participación de su personal en dichos programas. Aún así, los cursos en servicio en la agronomía de la producción continuarán en México, quizá en una escala menor, con el fin de servir como vehículo para desarrollar la capacidad de adiestramiento de los SNIA, crear nuevos materiales y formular nuevos conceptos.

El personal de capacitación del CIMMYT es el vehículo por el cual se sintetiza la experiencia, se forman impresiones y se formulan y mejoran los procedimientos.

Asimismo, en el caso del germoplasma, hemos aumentado en forma considerable nuestra capacidad de servir como repositorio de porciones selectas de las reservas mundiales de germoplasma de maíz, trigo duro, trigo harinero de primavera y triticale. Una vez más, al cumplir con nuestras obligaciones en este campo colaboraremos con varios programas nacionales, sobre todo de América Latina, en cuanto al germoplasma de maíz. Una parte substancial de los materiales necesarios ya está almacenada y estamos en proceso de desarrollar los datos correspondientes. Después de pasar por períodos de ansiedad y, en mi opinión, bastante confusión, me es grato informarles que pronto contaremos con los mecanismos requeridos para satisfacer una parte bien definida de las necesidades de la comunidad mundial.

Capacitación profesional

Tanto el CIMMYT como sus predecesores han hecho inversiones fuertes para respaldar a los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola (SNIA); gran parte de estos esfuerzos aumentan el capital humano mediante consultas y varios tipos de adiestramiento. Para dar una idea de su extensión, una encuesta reciente realizada por el personal del Programa de Trigo sugiere que éste dedica hasta un 45% de sus esfuerzos totales a esta actividad. El magnífico edificio que acabamos de inaugurar da testimonio de nuestro compromiso. Este impulso continuará en el futuro, pero reorientaremos en parte la dirección de nuestras energías.

Como en el pasado, la capacitación dependerá sustancialmente del aprendizaje activo. No obstante, dado los nuevos materiales didácticos y un mejor entendimiento de su función potencial, estamos en vías de crear un mayor volumen de dicho material. En este caso, nosotros mismos participamos en el aprendizaje activo al descubrir las aplicaciones del material de apoyo para reforzar las lecciones del bloque de cruzamiento, las parcelas del mejorador y el establecimiento de prioridades en los ensayos de producción.

Hace mucho tiempo que contamos con un programa para los científicos visitantes en el que recibimos a los colegas de los SNIA para que trabajen con nuestro personal, a veces en temas de investigación determinados y a veces para que se familiaricen con métodos y materiales específicos. Esta actividad también continuará. Además daremos nuevas oportunidades para que los participantes renueven sus técnicas de investigación. El plan incluye una estancia en México de cuatro a seis meses, durante la cual los participantes trabajarán con los datos de proyectos de sus países de origen. Les brindaremos la oportunidad de analizar datos, efectuar investigaciones relacionadas por medio de la biblioteca y elaborar informes de la investigación. Esto responde a una necesidad elocuentemente expresada por muchos de nuestros colegas en el sentido de que a menudo no están al tanto de los resultados de la investigación porque los investigadores no tienen tiempo de analizar datos y redactar informes, y que ciertas habilidades se atrofian como consecuencia de esta limitación. Hay mucho interés en este programa y hemos recibido un amplio apoyo financiero de parte de nuestros donantes y del sector privado. Las nuevas instalaciones desempeñarán una función crítica en esta actividad.

Finalmente, observamos una creciente necesidad de cursos especializados que versen sobre un solo tema o sobre temas afines, como los que se imparten en el campo de la patología y que están


financiados por el Gobierno de los Países Bajos. Estos cursos se diseñarán y desarrollarán en México, con base en la experiencia de los colegas de las redes internacionales y de nuestro propio personal, y serán itinerantes, para que se puedan impartir a nivel nacional o regional.

Estamos convencidos de que, por medio de la investigación a nivel de fincas, podemos lograr un conocimiento más profundo de lo que es esencial para establecer prioridades y políticas.

Nuestra labor en la capacitación ha ayudado a formar los recursos humanos de la investigación agrícola. Lo que no se aprecia muy bien es cómo esta actividad beneficia al CIMMYT. Primero, tenemos la oportunidad de aprender de las experiencias acumuladas de los participantes en los programas. Aun más, (si bien no se reconoce ampliamente) el personal de capacitación, mediante su participación periódica en la misma y su contacto continuo con las actividades de investigación de otros científicos, es el vehículo por el cual se sintetiza la experiencia del CIMMYT, se forman impresiones y se formulan y mejoran los procedimientos. Estos procedimientos, a su vez, son esenciales para el desarrollo de los programas de capacitación. Por tanto, es mediante el adiestramiento que las experiencias del CIMMYT se reúnen, se integran y se formulan en términos concretos.

Trabajo que beneficia a África

Aunque ya han sido incrementados mediante proyectos especiales con USAID y CIDA, Canadá, anticipamos que, en la próxima década, una porción cada vez mayor de nuestros recursos se centrarán en actividades relacionadas con África al sur del Sahara. Nuestro compromiso en esa región con seguridad será mayor de lo que correspondería, de



acuerdo con la superficie cultivada con maíz y trigo (cerca del 18% y 6%, respectivamente, de toda la tierra dedicada a estos cultivos en el mundo en desarrollo) o aun con la parte de la población que depende de estos granos. Sin embargo, resulta pequeño si se mide en términos de la necesidad de apoyo y del impacto potencial.

Esta labor incluirá toda la variedad de productos que el CIMMYT entrega a los programas nacionales. Una proporción considerable de este esfuerzo se dedicará a la generación de germoplasma. Dada la urgencia del problema de los alimentos y los ingresos, hemos transferido nuestra investigación de maíz para altitudes intermedias a Africa; por otra parte, planeamos aumentar el personal que trabaja en el germoplasma para los trópicos húmedos y subhúmedos, y estamos considerando un cambio de dirección en el trabajo sobre la tolerancia a la sequía en el maíz. En esta actividad esperamos contar con una colaboración sustancial del IITA, del IRAT de Francia, del SPAAR (Programa Especial para la Investigación Agrícola Africana) y de otros grupos que los donantes del GCIAl envían a la región.

Tenemos plena confianza en que los productores africanos adoptarán las nuevas tecnologías que resulten adecuadas. Dicha confianza está respaldada por lo acontecido recientemente en Ghana, donde el personal del CIMMYT ha cooperado con el programa nacional en un proyecto bilateral financiado por CIDA, Canadá. En una encuesta de productores de maíz, en ciertas zonas se observaron altos índices de adopción de variedades mejoradas introducidas por la red internacional de maíz, de fertilizante nitrogenado y de nuevos patrones de siembra. En el futuro no lejano se efectuarán otras evaluaciones del trabajo realizado en Ghana y, con el tiempo, de actividades semejantes.

También se reforzará la capacitación en Africa. Tenemos la esperanza de que una parte significativa de la capacitación requerida, sobre todo la relacionada con la agronomía de la producción, se efectuará dentro de los programas africanos. Como dijo el Dr. Thomas Odhiambo: "La cuestión vital...es el desarrollo de tecnologías específicas a la localidad, que permitan una continua producción de cultivos durante muchos años." El adiestramiento en la agronomía de la producción será crítico para este esfuerzo. Kenya ya está desarrollando una capacidad nacional de adiestramiento y esperamos que otros programas nacionales adoptarán estrategias similares en el futuro cercano. El CIMMYT puede respaldar estas actividades con la preparación de materiales didácticos y con su cooperación con el personal de capacitación de los programas nacionales. Ya se inició esta actividad y confiamos que en los próximos tres años se le asignarán mayores recursos. En cuanto a las actividades de capacitación del CIMMYT, es interesante notar que el número de becarios procedentes de Africa al sur del Sahara aumentó en cada uno de los períodos quinquenales. Además, la proporción de becarios que optan por el fitomejoramiento ha disminuido, en tanto que los que eligen la agronomía han incrementado.

En nuestra opinión, existe una oportunidad muy amplia para colaborar con los programas nacionales en la planificación y evaluación del enfoque de su investigación sobre el maíz y el trigo. Este tipo de asesoramiento podría aumentar considerablemente la eficiencia con la que se utilizan los recursos nacionales. Al reflexionar sobre las prioridades de los programas nacionales de investigación, hay muchos casos en los que es necesario preguntar si se dedican demasiados recursos o muy pocos a la investigación del maíz o del trigo. Por supuesto que estas decisiones están en las manos de los dirigentes de los programas nacionales, como debe

ser; aun así podemos suministrar información pertinente. Asimismo, en colaboración con entidades recién iniciadas como el SPAAR, el personal del CIMMYT será una buena fuente de información para los donantes sobre las posibles inversiones de alta prioridad en las actividades de los programas nacionales.

Finalmente, colaboraremos de manera más activa y directa con otros centros internacionales de investigación agrícola cuya misión específica incluya la investigación que beneficie a África. Una forma potencial de colaboración es la investigación encaminada hacia la generación de tecnología en combinación con varios centros y programas nacionales. Aunque no cabe duda de que otras entidades podrían realizar esta tarea, hay dos consideraciones que apoyan nuestra participación activa. La primera es la urgentísima necesidad de nuevas tecnologías que sean adecuadas a las circunstancias de los agricultores africanos. La segunda es que el respaldo de los africanos a su propia investigación se vería reforzado por el ejemplo de una investigación aplicada o adaptada con éxito.


Impulso sostenido

Desde cualquier punto de vista, el sistema GCIAl constituye un éxito rotundo, evidenciado ampliamente por el recién terminado Estudio de Impacto del GCIAl. Un resultado grato de este estudio es que seguramente acallará la preocupación que existe respecto a la distribución de los beneficios de la investigación realizada por los centros internacionales. Además hay evidencia de beneficios extensos, sobre todo a consumidores de escasos recursos, lo cual deberá tranquilizar a las personas que se preocupan por el flujo de beneficios. Esto de ninguna manera implica que todo marcha bien en la distribución de ingresos; más bien parece indicar que los críticos acerbos de los primeros tiempos erraron el blanco.

Ahora bien, ¿cómo podrían el CIMMYT y el GCIAl mantener el impulso que ha contribuido tanto a la agricultura en los países en desarrollo? Lo que dije anteriormente apoya la idea de que el espíritu innovador es el que debe prevalecer, no sólo en la investigación, sino también en las nuevas formas y estructuras de la colaboración, los productos, la capacitación y los procedimientos.

Un impulso sostenido tiene que ver no sólo con el respaldo a los centros internacionales de investigación, sino también con un mayor apoyo a los programas nacionales de los países en desarrollo. Durante los breves 20 años del CIMMYT, hemos visto ese apoyo variar, primero en una institución, y luego en otra. Sabemos que la constancia es indispensable para lograr resultados útiles en la investigación y que un apoyo interrumpido rara vez produce resultados aceptables. Intuimos también que un respaldo continuo quizá se dé sólo cuando los encargados de la toma de decisiones estén convencidos de que no pueden prescindir de la investigación agrícola y de que los electores pondrán en duda su criterio si el apoyo resulta inadecuado. Por otra parte, estamos conscientes de que este convencimiento sólo será posible si los programas nacionales dan prueba de que una inversión en sus actividades es una inversión altamente redituable.

El CIMMYT también debe mantener sus energías, sin dejar de tomar en cuenta los factores cada vez más sutiles que contribuyen a nuestra comprensión del potencial de la investigación. Las convicciones del ayer se expresaban con gritos vehementes que estimulaban la imaginación: “¡Alimento para los hambrientos!” Las consignas de hoy suenan apáticas y pedantes en comparación. Junto con el énfasis creciente en las nuevas ciencias, debemos mantener vigentes las formas



convencionales que seguramente producirán los logros de la próxima década y de años posteriores. Por otra parte, a pesar de la aparente abundancia, debemos reunir las energías necesarias para brindar opciones a los extremadamente pobres.

A pesar de la aparente abundancia, debemos reunir las energías necesarias para brindar opciones a los extremadamente pobres.

Ciertamente que éstos son retos tremendos, pero no significan el fin; como dijo Winston Churchill, éste no es el fin, ni siquiera el principio del fin. Sin embargo, bien puede ser el principio del fin, en el sentido de que las

circunstancias de nuestros próximos 20 años serán muy diferentes de las de las últimas dos décadas. Con la experiencia, energía, ingenio y espíritu innovador de nuestro personal, no dudo que alcanzaremos nuevas metas en los años que vienen y que ofreceremos una diversidad de opciones cada vez más amplia a los programas nacionales y, a través de ellos, a los productores.

Reuniones como ésta—en las que honramos nuestro pasado y recordamos cómo llegamos a ser lo que somos—son esenciales para mantener nuestro impulso. La dirección de este impulso depende también de conferencias como ésta, donde se aprovechan las reflexiones detenidas de personas bien informadas.

Nuestras oportunidades están presentes y sé que comparten mi confianza en que se realizarán.

Comentarios

G. Camus

Comité Asesor Técnico, Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales, Washington, D.C., EUA

Permítanme añadir mis felicitaciones al CIMMYT en nombre del Comité Asesor Técnico (CAT), así como mis mejores deseos en calidad de antiguo síndico y miembro *ex officio* de la gran familia del CIMMYT. El Centro ha alcanzado otro hito fundamental. Como todos ustedes saben, he tenido el privilegio de estar muy cerca del CIMMYT durante unos diez años como miembro del Consejo Directivo y quisiera decir que fue una experiencia muy agradable, que nunca olvidaré. Me siento muy orgulloso de tomar parte en las deliberaciones del día de hoy.

Quisiera agradecer a los organizadores por haberme dado la oportunidad de compartir con todos ustedes las opiniones del CAT acerca del futuro del CIMMYT y los retos que habrá de enfrentar en un mundo que cambia con rapidez. En esta celebración, una vez más se han reconocido unánimemente el éxito y las repercusiones de la labor anterior del CIMMYT. Estamos seguros de que la filosofía del Centro ha sido siempre la de alcanzar la excelencia; ésta es la base de todos sus logros excepcionales. Es una filosofía admirable que debemos tomar en cuenta si queremos enfrentar los retos formidables del mundo del mañana.

En este simposio hemos compartido tres días interesantes y productivos, y el éxito de esta reunión se ha debido en gran medida aquellos de ustedes que han participado en forma activa en las discusiones. Permítame mencionar al respecto, Sr. Presidente, que este simposio también ha brindado una excelente oportunidad para iniciar un proceso interactivo entre los centros seleccionados, los donantes, los Sistemas Nacionales de Investigación Agrícola (SNIA), los miembros del CAT, la comunidad científica, el Consejo Directivo y los administradores del CIMMYT. En el CAT vemos con

satisfacción esas interacciones, ya que son parte del diálogo continuo, tan necesario entre los diversos participantes del sistema mundial de investigaciones.

Una mirada hacia el pasado

Antes de comentar la exposición del Director General, quisiera hablar una vez más brevemente del pasado. El CIMMYT y sus fundadores, así como los pioneros que hicieron posible establecerlo hace veinte años, tienen en verdad mucho de qué estar orgullosos.

El lunes fuimos informados de los logros del CIMMYT gracias a la elocuente participación del Dr. Norman Borlaug, uno de los padres de la revolución verde. El tema de la revolución verde fue abordado por el Dr. M.S. Swaminathan, una persona con gran capacidad para traducir en realidades prácticas a nivel nacional las investigaciones y adelantos internacionales realizados por el CIMMYT y el Instituto Internacional de Investigación sobre el Arroz (IRRI). Todos conocemos la excelente trayectoria del trabajo del CIMMYT con los sistemas nacionales de países en desarrollo; la revolución verde es un buen ejemplo de esta cooperación, que, como mencionó el Dr. Winkelmann, se adaptó a las nuevas circunstancias y evolucionó a lo largo de los años.

El Estudio del Impacto del Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales (GCI) en 1983, estimaba conservadoramente que en el mundo en desarrollo se cultivaban 47 millones de hectáreas de trigo semienano y seis millones de hectáreas de maíz, derivados del germoplasma del CIMMYT. Estas cifras impresionantes hablan por sí solas, así como las 4,000 o más personas que han recibido capacitación en 95 países y se consideran parte de la gran familia del CIMMYT.

El reto futuro

La trayectoria del desempeño anterior del CIMMYT es un buen pronóstico para el futuro. A través de la exposición del Director General nos enteramos de que el CIMMYT está consciente de los retos que le esperan y de que el Centro ya ha tomado o está preparado para tomar las medidas necesarias para responder con la misma eficacia que en el pasado. Todos reconocemos que las tareas que nos esperan son apremiantes y difíciles, pero también son estimulantes y prometedoras.

Una cooperación estrecha entre los centros internacionales y sistemas nacionales de investigación es esencial para solucionar la crisis que enfrenta Africa en este momento.

Ya que el CIMMYT y el CAT están de acuerdo, limitaré mi exposición, Sr. Presidente, a unos cuantos temas de importancia general para el CIMMYT y el sistema en su conjunto, y no hablaré de temas como, por ejemplo, el enfoque del CIMMYT de la nueva ciencia. En el CAT estamos totalmente de acuerdo con el CIMMYT en su enfoque constructivo y pragmático. Quisiera en particular subrayar los comentarios del Dr. Arnold y el Dr. Winkelmann acerca del potencial de los nuevos instrumentos de la biología molecular, como son las sondas de ADN y en especial el PFRL (polimorfismo del fragmento de restricción de longitud). Creo que, a corto plazo, estos instrumentos pueden ser agregados importantes, y subrayo agregados, al inmenso conjunto de técnicas de mejoramiento que actualmente utilizan los fitogenetistas del CIMMYT.

En el mismo sentido, no podemos menos que ver con satisfacción que el Centro participe cada vez más en Africa, en colaboración con otras organizaciones. La estrecha cooperación entre los centros internacionales de investigación

agrícola y los sistemas nacionales de investigación, en programas de acción bien definidos es, sin lugar a dudas, esencial para solucionar la crisis que enfrenta Africa en este momento. No voy a referir a los aspectos técnicos de las investigaciones, como son la demanda relativa de diferentes clases de trigo y maíz, o la importancia del trabajo, que todos reconocemos, para desarrollar materiales que puedan adaptarse a una serie de condiciones adversas frecuentes cuando se producen los cultivos en medios que no son los tradicionales o más favorables. No obstante, quisiera agregar que la discusión no tiene que restringirse a los temas que mencioné, y que cualquiera de ustedes puede, por supuesto, plantear diversas cuestiones.

Satisfacción de demandas crecientes

Mi primer punto se refiere al creciente número y diversidad de las exigencias en cuanto a la capacidad del CIMMYT y sus recursos relativamente limitados. Estas exigencias son tanto externas como internas.

Una exigencia externa proviene de los SNIA. Si bien algunos de ellos, que también han evolucionado en los últimos 20 años, son ahora capaces de asumir una mayor parte de la responsabilidad en los trabajos internacionales, muchos otros, por desgracia, están aún muy atrasados. A pesar de los intensos esfuerzos de capacitación, estos SNIA carecen de la capacidad efectiva mínima para realizar incluso investigaciones de adaptación. Necesitan ayuda, de una forma u otra.

Ya hemos escuchado los planes que tiene el CIMMYT para hacerle frente a este problema específico. Esos planes incluyen mayores esfuerzos de capacitación haciendo hincapié en cursos especializados, descentralización y énfasis en la preparación de materiales de capacitación, colaboración para establecer las prioridades, mayor cantidad de material segregante que en épocas anteriores, concatenación y criterios innovadores sobre cómo compartir responsabilidades con los SNIA

que ya estén listos para tomar su lugar como asociados en igualdad de condiciones en el sistema mundial de investigaciones. Sin embargo, esto requerirá tiempo y recursos.

Con respecto a esto último, me complace mucho la iniciativa del Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola (IFAD), copatrocinada por la Agencia Sueca para la Cooperación en Investigación con los Países en Desarrollo (SAREC), el Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC), el Ministerio para la Cooperación Económica (BMZ) y la Fundación Rockefeller, que permitirá que los SNIA más adelantados de los países en desarrollo compartan con el CIMMYT y el IRRI sus opiniones acerca de la posibilidad de ampliar su papel en el sistema mundial de investigaciones, en una reunión que se llevará a cabo a principios de 1987. El CAT está convencido de que, cuando sea factible, hay que acelerar y alentar el proceso orientado a compartir más responsabilidades con los SNIA.

El reciente seminario internacional sobre temas de mayor prioridad y mecanismos para la cooperación en las investigaciones agrícolas en América Latina y el Caribe, que se llevó a cabo en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) en agosto pasado, señaló los puntos de vista de los SNIA con respecto a la cooperación en la investigación y el papel de los CIIA. El Grupo de Estudio del GCIAT sobre las estrategias de investigación en África al Sur del Sahara analiza también este asunto, pero en este caso se trata naturalmente de SNIA relativamente más débiles.


En cuanto a las exigencias internas, no es menor la presión sobre los recursos. A la obvia necesidad de una investigación de "mantenimiento", señalada por el Director General, se suman el problema del mayor número de actividades para desarrollar germoplasma, las investigaciones estratégicas y la necesidad de estar al corriente de los diferentes aspectos de la

nueva ciencia, todos ellos requisitos necesarios si el Centro quiere continuar en la vanguardia de la generación de tecnología. No hay duda de que el CIMMYT está consciente de estas necesidades, que se complican por la creciente diversidad y, de hecho, por la debilidad actual de la mayoría de los sistemas nacionales.

Logro de las metas a largo plazo

Por lo tanto, sin importar el tipo de cooperación y asociación que se establezcan, la carga mundial seguirá siendo pesada en el futuro cercano. Esto representa una serie de problemas para el CIMMYT, en particular uno sobre el cual el CAT expresó una enérgica opinión cuando analizó el informe de la Segunda Revisión de Programas Externos del CIMMYT en 1982. El comité consideró entonces que era necesario fortalecer las investigaciones disciplinarias que se llevan a cabo en la sede del CIMMYT para asegurar que se cumplieran los objetivos a largo plazo de la institución. Me complace admitir que el Centro ha realizado un progreso considerable en este aspecto. Un ejemplo lo constituye la realización de investigaciones sobre sanidad de las semillas. La revolución verde no se hubiera llevado a cabo de no haber sido por la capacidad del CIMMYT de intercambiar germoplasma gratuitamente y sin riesgos con un centenar o más de países. El establecimiento de investigaciones sobre sanidad de las semillas demuestra que para el CIMMYT éste es un aspecto de gran prioridad y que está deseoso de generar nuevos conocimientos con el fin de intentar asegurar que los principios científicos configuren las pautas para el futuro intercambio de germoplasma. El distinguido grupo aquí presente tal vez quiera contribuir al debate de este punto o de otras áreas de la investigación disciplinaria que deben recibir mayor atención en el futuro.

Sobre la base de lo que ustedes han escuchado en los dos últimos días y tomando en cuenta la ventaja comparativa del CIMMYT, la cantidad de investigaciones que se realizan en otros



lugares, los limitados recursos disponibles, y la creciente necesidad de descentralizar las actividades de mejoramiento, quizás quieran ustedes reflexionar un poco sobre el equilibrio apropiado entre las actividades que se realizan en las instalaciones del Centro y las que se efectúan fuera de él. Aproximadamente el 40% del personal internacional del CIMMYT tiene su base fuera de México. El programa del maíz de tierras altas en Ecuador, y el reciente establecimiento de un programa conjunto con el IITA para desarrollar un programa de mejoramiento de maíz de altitudes medias en Harare, constituyen las iniciativas más recientes con esta orientación, y gozan del apoyo total del CAT. En el caso del programa del trigo, parte de las investigaciones fitogenéticas y agronómicas para zonas donde el trigo no es un cultivo tradicional, ya que no se realizan en México sino en Paraguay y Tailandia. Ya se han puesto en marcha esas iniciativas, pero, ¿qué pasará en el futuro? ¿Cuál debe ser el equilibrio entre estas actividades en los próximos diez años y cuál debe ser la naturaleza respectiva de las actividades que se realizan en el Centro y fuera de él? Esta es una pregunta fundamental que hago, pero que me abstendré de responder.

Una segunda cuestión muy relacionada con las consideraciones anteriores es el financiamiento mundial. Se plantean al CIMMYT cada vez más exigencias en un momento en el que todos los recursos de que dispone el GCIAl son estáticos o aumentan sólo a un ritmo muy lento. Permítanme recordarles que el GCIAl representa una parte muy pequeña, tal vez el 3%, de los recursos mundiales para la investigación agrícola. No obstante, el sistema ha desempeñado un papel fundamental en la generación de tecnología, que ha producido aumentos cuantitativos de la productividad del sistema mundial. Las palabras clave que considero importantes en este contexto son: ventaja comparativa y establecimiento de prioridades.

En la Reseña del CAT de las prioridades y estrategias futuras del GCIAl, recientemente terminada, se escogieron

el maíz y el trigo como artículos de primera necesidad que requerían una consideración especial en el futuro con respecto al nivel relativo de recursos que el GCIAl dedica a cada producto.

Ahora quisiera mencionar un asunto muy delicado, que a veces provoca que se exalten los ánimos. Se relaciona con la propuesta del CAT de reducir relativamente los recursos que el GCIAl destina al trigo. Se propone que, a corto o mediano plazo, en 5 ó 10 años, se reduzca ligeramente la asignación relativa de recursos para el trigo, y que luego permanezca en ese nivel. No se debe considerar que esto implica que la investigación sobre la productividad de ese cultivo será cada vez menos importante en el futuro. Sencillamente se prevé que podrían reducirse un poco los gastos actuales al aumentar la participación de los integrantes del programa y compartir con ellos las responsabilidades, tanto en los países desarrollados como en desarrollo. Por ejemplo, en la Conferencia Europea de Directores de Investigación que se celebró recientemente en Bad Homburg, escuchamos acerca de la importante red de investigaciones conjuntas que el CIMMYT está promoviendo para estudiar el virus del enanismo amarillo de la cebada (BYDV). Esta red incluye la participación de ocho centros de renombre de Europa, América del Norte y Australia, y se contará con casi el mismo número de vínculos en los países en desarrollo de Asia, África y América Latina.

El CIMMYT encabeza la red, que permitirá que la comunidad científica internacional utilice recursos limitados de una manera más eficiente al definir las prioridades en conjunto, asignar tareas de acuerdo con las ventajas comparativas, lograr dimensiones críticas y participar en el análisis y la interpretación de los nuevos conocimientos. Permítanme hacer hincapié en que muchas de las actividades de la red se financian a través de mecanismos externos al GCIAl y que, por lo tanto, lo complementan.

En general, en cuanto al Programa de Trigo, el CAT considera que mientras deben proseguir las investigaciones sobre medios más favorables, hay que hacer mayor hincapié en las tierras marginales. Esto puede brindar también la oportunidad de explorar aún más el potencial del triticale en los próximos cinco años, cuando ya deberá hacerse una evaluación del progreso y sus limitaciones. Personalmente creo que el triticale puede gozar de tasas de adopción más altas si subrayamos su empleo como forraje y no como alimento. No me referiré a la cebada porque el CIMMYT ya ha trasladado esta responsabilidad al Centro Internacional de Investigaciones Agronómicas en las Zonas Áridas (ICARDA), de acuerdo con las recomendaciones del CAT/GCIAI

Concurrentemente, se espera que el CIMMYT dedique mayores recursos al maíz, en especial para las condiciones africanas donde las necesidades son específicas y urgentes, que consolide sus actividades para fortalecer el germoplasma y que realice más evaluaciones de las fuentes genéticas del maíz y el trigo. Será necesario abordar el problema del sostenimiento de los sistemas de producción relacionados con estos productos básicos, así como las implicaciones para la investigación y el desarrollo de tecnologías. Hay que abordar por lo menos en parte la investigación sobre los factores comunes de la producción del maíz y del trigo, estableciendo vínculos de colaboración con centros que no pertenecen al GCIAI, tales como el Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes (IFDC) y el Instituto Internacional sobre el Manejo de la Irrigación (IIMI).

Esto significa que dentro de las limitaciones de los recursos disponibles en el futuro, no sólo deben evolucionar las diversas relaciones con los organismos asociados con el Centro, sino también las investigaciones para enfrentar los medios más difíciles, las cuales se deben ajustar a medida que mejore la capacidad de los SNIA. De igual forma, será necesario cambiar

gradualmente las prioridades internas en los diversos programas, sin tomar medidas drásticas que pongan en peligro los espectaculares resultados que se han obtenido hasta el momento.

El maíz y el trigo requerirán una consideración especial en el futuro con respecto al nivel relativo de recursos que el GCIAI dedica a cada producto.


El CIMMYT enfrenta una serie de elecciones en relación con la redistribución interna de recursos, que debe articularse en el contexto de una estrategia futura en un plan a largo plazo. Este plan será el documento crítico que examinará el Grupo de Revisión de Programas Externos cuando el CIMMYT pase por su Tercera Revisión del CAT en la segunda mitad de 1987.

Conservación de germoplasma

Es probable que me haya extendido mucho pero apreciaría mucho que me permitiera tocar brevemente un último punto: la reunión y conservación del germoplasma

El CIMMYT desempeña un papel importante como conservador y proveedor de germoplasma básico de maíz y trigo para los países en desarrollo. Al igual que sus instituciones hermana orientadas hacia los productos básicos, el CIMMYT participa en las investigaciones sobre recursos genéticos mundiales del sistema del GCIAI, que representan cerca del 50% de los esfuerzos de conservación que se realizan en el mundo en desarrollo.

El CAT se complace en señalar los recientes esfuerzos del CIMMYT para conservar el germoplasma y, en particular, los estrechos vínculos de trabajo con el Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos (IBPGR). De hecho, el IBPGR ha dado el apoyo financiero para llevar a cabo algunas de



las actividades que ha discutido y acordado con el CIMMYT. Este es un buen ejemplo de la cooperación entre centros y puede ser un buen modelo para el futuro.

Durante su reciente reunión en Cali, Colombia, el CAT consideró brevemente la posibilidad de iniciar un estudio en todo el sistema con la colaboración de los centros y el IBPGR. Este estudio evaluaría las investigaciones actuales, las necesidades de mejorar, y las formas en que podrían participar los centros con otros organismos asociados en un programa muy necesario relacionado con la conservación, almacenamiento y evaluación de los cultivos asignados a los centros. Este asunto se discutirá con los directores de los centros en nuestra próxima reunión en octubre y

probablemente se ponga en marcha a través de mecanismos que definiremos conjuntamente. Mientras tanto, tal vez el Director General del CIMMYT quiera señalar si las instalaciones actuales del CIMMYT (que han mejorado mucho en los últimos años) son adecuadas y en qué medida cree que el CIMMYT debería o podría llevar a cabo investigaciones en este nuevo campo.

Mis disculpas nuevamente por extenderme tanto, pero, como habrá podido notar, necesitaba más tiempo para subrayar el vigoroso apoyo y el reconocimiento del CAT a los programas y logros del CIMMYT en los dos últimos decenios, y para hacer hincapié en mi convicción de que el CIMMYT responderá satisfactoriamente a los retos que enfrente.

Organismos mencionados en el texto

AGRHMET Agricultural Hydrology and Meteorology (Meteorología e Hidrología Agrícolas)

BMZ Bundesministerium für Wirtschaftliche Zusammenarbeit (Ministerio para la Cooperación Económica)

CASAFA Commission for the Application of Science to Agriculture, Forestry, and Aquaculture (Comisión para la Aplicación de la Ciencia a la Agricultura, Silvicultura y Acuicultura)

CAT Comité Técnico Asesor

CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical

CIDA Canadian International Development Agency (Agencia Canadiense para el Desarrollo Internacional)

CIDT Compagnie Ivoirienne pour le Développement des Textiles (Compañía Marfilense para el Desarrollo Textil)

CIEH Comité Inter Etats des Etudes Hydrauliques (Comisión Interestatal de Estudios Hidráulicos)

CIIA Centros Internacionales de Investigación Agrícola

CIMMYT Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo

CIRAD Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo)

CSIRO Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (Organización para la Investigación Científica e Industrial de la Comunidad Británica)

DRSS Department of Research and Specialist Services (Departamento de Investigación y Servicios Especializados)

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuaria

FAO Food and Agricultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación)

FECOTRIGO Federação das Cooperativas Brasileiras de Trigo e Soja (Federación de Cooperativas Brasileñas de Trigo y Soya)

FMI Fondo Monetario Internacional

GICAI Grupo Consultivo sobre Investigaciones Agrícolas Internacionales

HYVP High-Yielding Varieties Program (Programas de Variedades de Alto Rendimiento)

IADP Intensive Agricultural District Program (Programa Agrícola Intensivo por Distritos)

IBPGR International Board of Plant Genetic Resources (Consejo Internacional de Recursos Fitogenéticos)

IBSREM International Board for Soil Resources Management (Consejo Internacional para el Manejo de Recursos del Suelo)


ICAR Indian Council of Agricultural Research (Consejo Indio para la Investigación Agrícola)

ICARDA International Center for Agricultural Research in the Dry Areas (Centro Internacional de Investigaciones Agrícolas en las Zonas Áridas)

ICRISAT International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics (Instituto Internacional de Investigación de Cultivos para los Trópicos Semi-áridos)

ICSU International Council of Scientific Unions (Consejo Internacional de Uniones Científicas)

IDESSA Institut des Savanes (Instituto de las Savanas)



IDRC International Development Research Centre (Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo)

IFA Industries et Forêts Africaines (Industrias y Bosques Africanos)

IFAD International Fund for Agricultural Development (Fondo Internacional para el Desarrollo Agrícola)

IFDC International Fertilizer Development Center (Centro Internacional de Desarrollo de Fertilizantes)

IFPRI International Food Policy Research Institute (Instituto Internacional de Investigación sobre Políticas Alimentarias)

IMI International Irrigation Management Institute (Instituto Internacional sobre el Manejo de la Irrigación)

IITA International Institute of Tropical Agriculture (Instituto Internacional de Agricultura Tropical)

ILCA International Livestock Centre for Africa (Centro Internacional de Producción Pecuaria de Africa)

INIA Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias

INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias

IRAT Institut de Recherches Agronomiques Tropicales et des Cultures Vivrières (Instituto de Investigaciones Agronómicas Tropicales)

IRRI International Rice Research Institute (Instituto Internacional de Investigaciones sobre el Arroz)

ISNAR International Service for National Agricultural Research (Servicio Internacional para la Investigación Agrícola Nacional)

NIAB National Institute of Agricultural Botany (Instituto Nacional de Botánica Agrícola)

OCEPAR Organização das Cooperativas do Estado de Paraná (Organización de las Cooperativas del Estado de Paraná)

ODA Overseas Development Administration (Administración para el Desarrollo de Ultramar)

ORD Organisme Regional de Développement du Nord Mossi (Organismo Regional de Desarrollo del Norte de Mossi)

OSS Office of Special Studies (Oficina de Estudios Especiales)

PBI Plant Breeding Institute (Instituto de Fitomejoramiento)

PROCISUR Programa Cooperativo de Investigación Agrícola del Cono Sur

SACCAR Southern African Centre for Cooperation in Agricultural Research (Centro de Africa Meridional de Cooperación para la Investigación Agrícola)

SADCC Southern Africa Development Coordination Conference (Conferencia para la Coordinación del Desarrollo de Africa Meridional)

SAREC Swedish Agency for Research Cooperation with Developing Countries (Agencia Sueca para la Cooperación en Investigación con los Países en Desarrollo)

SNIA Sistemas nacionales de investigación agrícola

SPAAR Special Program for African Agricultural Research (Programa Especial para la Investigación Agrícola Africana)

UNCTAD United Nations Conference on Trade and Development (Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo)

USDA United States Department of Agriculture (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)

Lista de ponentes

D. Acker

Director, Food and Agriculture
United States Agency for International
Development
Department of State
Washington, DC, USA

M.H. Arnold

Consultant
4 Shelford Road, Whittlesford
Cambridge CB2 4PG, England

N.E. Borlaug

Consultor
Centro Internacional de
Mejoramiento de Maíz y Trigo
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641
06600 México, DF, México

G. Camus

Chairman
Technical Advisory Committee (TAC)
c/o World Bank
66 Avenue d'Iena
Paris 75016, France

G.T. Castillo

Professor of Rural Sociology
University of the Philippines at Los Baños
Los Baños, Laguna 3720, Philippines

M. Catley-Carlson

President
Canadian International Development
Agency
200 Promenade du Portage
Hull, Quebec, Canada K1A 0G4

C. Charreau

Director
Institute for Tropical Agricultural
Research (IRAT)/Center for International
Cooperation in Agronomic Research for
Development (CIRAD)
45 Bis, Avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent-sur-Marne, France

P.R.N. Chigaru

Director
Department of Research and
Specialist Services
Ministry of Lands, Agriculture, and
Rural Resettlement
Harare, Zimbabwe

D. Duvick

Senior Vice-President
Pioneer Hi-Bred International, Inc.
7301 Northwest 62nd Ave., P.O. Box 85
Johnston, Iowa, USA 50131

L.T. Evans

Chief Research Scientist
Division of Plant Industry
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organization
P.O. Box 1600
Canberra City ACT 2601, Australia

W.P. Falcon

Director
Food Research Institute
Stanford University
Stanford, California, USA 94305

K.J. Frey

Professor of Plant Breeding
Department of Agronomy
Iowa State University
Ames, Iowa, USA 50011

S.S. Husain

Chairman
Consultative Group on International
Agricultural Research
World Bank
1818 H St., NW
Washington, DC, USA 20433

G. Rouanet

Chief of Maize, Wheat, and Barley
Programs
IRAT/CIRAD
45 Bis, Avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent-sur-Marne, France

G.E. Schuh

Director, Agriculture and Rural
Development
The World Bank
1818 H St., NW
Washington, DC, USA 20433

E.W. Sprague

Consultant
127 Beck Rd., RFD No. 1
Hull, Georgia, USA 30646



M.S. Swaminathan

Director General
International Rice Research Institute
P.O. Box 933, Manila, Philippines

A. Turrent F.

Director
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales y Agropecuarias
Insurgentes Sur 694
México, DF, Mexico

A. von der Osten

Director General
International Service for National
Agricultural Research
P.O. Box 93375
2509 AJ The Hague, Netherlands

D.L. Winkelmann

Director General
Centro Internacional de Mejoramiento
de Maíz y Trigo
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641
06600 México, DF, México

Lista de participantes¹

Dr. Duane Acker
Director, Food and Agriculture
United States Agency for International
Development
Department of State
Washington, DC, USA 20523

Dr. Hassan Al-Ahmad
Director of Agricultural Research
Ministry of Agriculture and Agrarian
Reform
Damascus, Syria

Dr. Michael Arnold
Consultant
4 Shelford Road
Whittlesford
Cambridge CB2 4PG UK

Dr. Mansur Ahmed Bajwa
Director General
Ayub Agriculture Research Institute
Faisalabad, Pakistan

Dr. Manuel Barradas
Director
Experimental Station
Elvas, Portugal

Dr. Christian H. Bonte-Friedheim
Assistant Director General
Agricultural Department
Food and Agricultural Organization
Via delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italy

Prof. Aureliano Brandolini
Istituto Agronomico per L'Oltremare
Via A. Cocchi, Affari Esteri
50131 Florence, Italy

Dr. Guy Camus
Chairman
Technical Advisory Committee
c/o World Bank
66 Avenue d'Iena
Paris 75016, France

Dr. Gelia T. Castillo
Professor of Rural Sociology
University of the Philippines at Los Baños
Los Baños, Laguna 3720, Philippines

Ms. Margaret Catley-Carlson
President
Canadian International Development
Agency
200 Promenade du Portage
Hull, Quebec, K1A 0G4 Canada

Dr. Chris Chapman
Representative
International Board of Plant Genetic
Resources
c/o IBPGR Liaison Office for North
America
1001 22nd St. NW No. 300
Washington, DC, USA 64255

Dr. Claude Charreau
Director
Institut de Recherches Agronomiques
Tropicales
45 bis Avenue de la Belle Gabrielle
94130 Nogent-sur-Marne, France

Dr. Phillip Chigaru
Director
Department of Research and Specialist
Services
Ministry of Lands, Agriculture, and Rural
Resettlement
Harare, Zimbabwe

Dr. Ramón Claverán Alonso
Vocal Secretario de Investigaciones
Agrícolas
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales y Agropecuarias
Insurgentes Sur 694, Piso 9
Col. del Valle
México, DF, México

¹ Además de las personas que aquí aparecen, asistió al simposio el personal del CIMMYT asignado a la sede y a las regiones.



Dr Harlan Davis
Subdirector General
Instituto Interamericano de Ciencias
Agrícolas
Apdo. Postal 55
2200 Coronado
San José, Costa Rica

Prof. Peter Rodney Day
Director
Plant Breeding Institute
Maris Lane
Trumpington
Cambridge CB2 2LQ UK

Dr. Lloyd T. Evans
Chief Research Scientist
Division of Plant Industry
Commonwealth Scientific and Industrial
Research Organisation
P.O. Box 1600
Canberra City ACT 2601, Australia

Dr. Walter P. Falcon
Director
Food Research Institute
Stanford University
Stanford, CA USA 94305

Dr. Curtis Farrar
Executive Secretary
Consultative Group on International
Agricultural Research
World Bank
1818 H Street NW
Washington, DC, USA 20433

Mr. Carlos Fernández
Assistant Secretary
Ministry of Agriculture Special Projects
Office
Diliman, Quezon City, Philippines

Dip. Rodolfo Fierro Márquez
Presidente
PIAEBAC
Centro Cívico
Apdo. Postal No. 1-67
Mexicali, B.C., México

Dr. Kenneth J. Frey
Professor of Plant Breeding
Department of Agronomy
Iowa State University
Ames, IA, USA, 50011

Mr. Chaudhry Abdul Ghafoor
Ministry of Agriculture
Punjab Province
Lahore, Pakistan

Dr. Ahmed A. Goueli
Governor
Damietta Province
4 Medan El Talaba
Agouza, Giza, Egypt

Mr. Haldore Hanson
Ex Director General
CIMMYT
Lisboa 27
06600, México, DF, México

Dr. Lowell Hardin
Department of Agricultural Economics
Purdue University
West Lafayette, IN, USA 47907

Mr. Robert D. Havener
President
Winrock International
Route 3
Morrilton, AR, USA 72110

Mr. Shahid Husain
Chairman
Consultative Group on International
Agricultural Research
World Bank
1818 H Street NW
Washington, DC, USA 20433

Mr. Adam S. Ibrahim
PNDC Under Secretary
Ministry of Agriculture
P.O. Box M37
Accra, Ghana

Dr. Phaitoon Ingkasuwan
Professor
Rector's Office
Kasetsart University
Bangkok 10900, Thailand

Dr. H.K. Jain
Senior Research Fellow
International Service for National
Agricultural Research
Oranje Buiten Singel 6, 2511 VE
The Hague, Netherlands 33746

Dr. Leobardo Jiménez
Director
Colegio de Postgraduados
Montecillos, Edo. Méx., México

Dr. Elmer C. Johnson
International Plant Research Institute
830 Branston Street
San Carlos, CA, USA 94070

Dr. Adeyemi Joshua
Director
National Seed Service
University of Ibadan Post Office
P.M.B. 9
Ibadan, Nigeria

Dr. William Kuhn
Assistant Director, Corn Breeding
Pioneer Hi-Bred International, Inc.
7301 Northwest 62nd Ave.
P.O. Box 85
Johnston, IA, USA 50131

Dr. Douglas R. Laing
Subdirector General
Centro Internacional de Agricultura
Tropical
Apartado Aéreo 6713
Cali, Colombia

Ing. Pablo Larrea
Director General
Instituto Nacional de Investigaciones
Agropecuarias
Apdo. 2600
Quito, Ecuador

Sr. Alejandro López
PIAEBAC
Coahuila 350 Norte
Ciudad Obregón, Sonora, México

Ing. Emilio Madrid C.
Presidente Ejecutivo
Instituto Nacional de Investigaciones
Agrícolas
Fidel Oteiza 1956, Piso 12
Santiago, Chile

Dr. Antoine Mathelier
Secretary of State
Ministère de l'Agriculture des Ressources
Naturelles et du Développement Rural
Damien, Port-au-Prince, Haiti

Mr. William A.C. Mathieson
Consultant
13 Sydney House
Woodstock Road
Bedford Park, London W4 1DP, England

Ing. Alexis Matute Vargas
Instituto Hondureño del Café
Tegucigalpa, Honduras

Mr. Stephen E. McGaughey
Chief
Forestry & Fishery Section
Inter-American Development Bank
808 17th St. NW
Washington, DC, USA 20577

Dr. John J. McKelvey, Jr.
Chairman of the Board of Trustees, IITA
RR 1, BOX 144A
Richfield Springs, NY, USA 13439


Dr. James R. McWilliam
Director
ACIAR
P.O.Box 1571
Canberra, A.C.T. 2601, Australia

Dr. Joseph M. Menyonga
International Coordinator
Organization of African Unity
Semi-Arid Food Grain Research and
Development
B.P. 1783
Ouagadougou, Burkina Faso

Dr. John Monyo
Executive Secretary
Technical Advisory Committee
Food and Agricultural Organization
Via delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italy

Dr. Jesús Moreno
Dir. Técnico Rel. Científicas
Instituto Nacional de Investigaciones
Agrarias
Calle José Abascal 56
Madrid 28003, España

Dr. Stachys N. Muturi
Director of Agriculture
Ministry of Agriculture
Kilimo House
P.O. Box 30028
Nairobi, Kenya



Ing. Luis Pampliega
Director General
Ministro de Agricultura
Asunción, Paraguay

Lic. Eduardo Pesqueira Olea
Secretario de Agricultura y Recursos
Hidráulicos
Av. Insurgentes Sur 476, 13o. Piso
México 06700, DF, México

Dr. Zhuang Qiao-sheng
Institute of Crop Breeding and Cultivation
Chinese Academy of Agricultural
Sciences
Beijing, People's Republic of China

Dr. M.V. Rao
Special Secretary to the Government
of India
Krishi Bhawan
New Delhi 110001, India

Mr. Timothy Rothermel
Director
Division for Global & Interregional
Program
United Nations Development Programme
One United Nations Plaza
New York, NY, USA 10017

Dr. Ernesto Samayoa
Subdirector de Investigación, Zona Norte
CIANO-INIFAP
Apdo. Postal 515
Cd. Obregón, Sonora, México

Dr. Da Sansan
Program Leader
Cereal National Program Station
Farako
BP 910
Bobo Dioulasso, Burkina Faso

Dr. Yookti Sarikaphuti
Director General
Department of Agriculture
Bangkhen, Bangkok 10900, Thailand

Dr. G. Edward Schuh
Director
Agriculture and Rural Development
The World Bank
1818 H Street, NW
Washington, DC, USA 20433

Dr. D.S. Sidhu
Professor and Head, Economics
Punjab Agricultural University
Ludhiana, Punjab, India

Dr. Ernest Sprague
Consultant
127 Beck Road, RFD No. 1
Hull, GA, USA 30646

Dr. Jitendra P. Srivastava
Leader, Cereal Improvement
International Center for Agricultural
Research in the Dry Areas
P.O. Box 5466
Aleppo, Syria

Dr. M.S. Swaminathan
Director General
International Rice Research Institute
P.O. Box 933
Manila, Philippines

Dr. Leslie Swindale
Director General
International Crops Research Institute for
the Semi-Arid Tropics
Patancheru, Andhra Pradesh 502-324
India

Dr. Marco Antonio Turrent Fernández
Director
Instituto Nacional de Investigaciones
Forestales y Agropecuarias
Insurgentes Sur 694 - 10o. Piso
México, DF, México

Dr. Guy Vallaëys
Advisor to the Director General
Centre de Coopération Internationale en
Recherche Agronomique pour le
Développement
45 bis Ave. de la Belle Gabrielle
94130 Nogent-Sur-Marne, France

Sr. José Ever Vargas Sánchez
Instituto Colombiano Agropecuario
Apartado Aéreo 233
Palmira, Colombia

Dr. Manuel Villa Issa
Subsecretario de Promoción y Desarrollo
Agropec. For.
SARH
Insurgentes Sur 476
México, DF, México

Dr. Alexander Von Der Osten
Director General
International Service for National
Agricultural Research
P.O. Box 93375
2509 AJ The Hague
Netherlands 33746

Dr. Edwin Wellhausen
Former Director General, CIMMYT
5400-A Via Carrizo
Laguna Hills, CA, USA 92653

Dr. Rolf Wilhelm
Deputy Director
Federal Department of Foreign Affairs
Bern, Switzerland

Dr. Hikoyuki Yamaguchi
Professor
University of Tokyo
Wakaba-cho 1-20-10, Chofu 183
Tokyo, Japan

Ing. Oscar Zazueta M.
Administrador Gral. Semillas
CAADES
Juan Carrasco 787 Nte.
8000 Culiacán, Sinaloa, México

Dr. Frank Zillinsky
Consultant
1385 McMahon Ave.
Gloucester, Ontario KIT IC2 Canada

ISBN 968-6127-20-8



*Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo
International Maize and Wheat Improvement Center
Lisboa 27, Apdo. Postal 6-641, 06600 México, D.F., México*