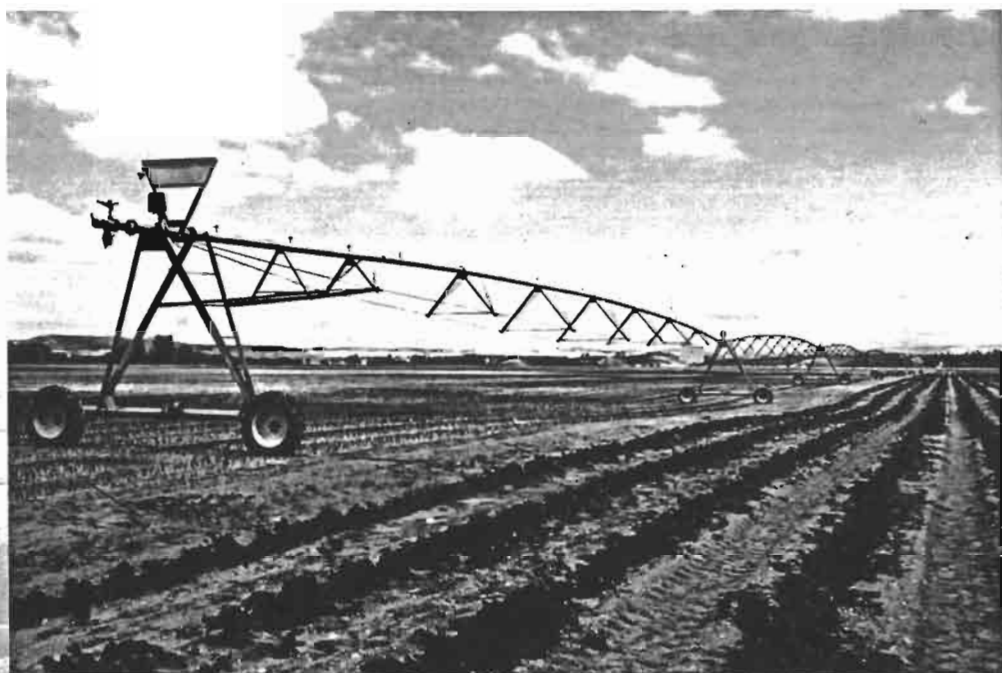


# LOS REGADÍOS ESPAÑOLES

## II Symposium Nacional

Madrid, Febrero 2000



MINISTERIO  
DE FOMENTO

**CEDEX**

CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN  
DE OBRAS PÚBLICAS

Editorial Agrícola Española, s.a.



COLEGIO OFICIAL DE



INGENIEROS  
AGRONOMOS  
DE CENTRO Y CANARIAS

**Serie Técnica**

**Título: LOS REGADIOS ESPAÑOLES  
II SYMPOSIUM NACIONAL  
Autores: Varios**

**© Colegio Oficial de Ingenieros  
Agrónomos de Centro y Canarias  
C/Bretón de los Herreros, 43  
Telf.: 91 441 61 98 – Fax: 91 442 61 92  
28003 Madrid**

**© Editorial Agrícola Española, S.A.  
C/Caballero de Gracia, 24 – 3º  
Telf.: 91 521 16 33 – Fax: 91 522 48 72  
28013 Madrid**

**I.S.B.N.: 84-85441-61-3  
Depósito Legal: M-27686-2001**

**Imprime: COIMOFF, S.A.  
C/Acero, 1 – 28500 Arganda del Rey  
(Madrid)**

# LOS REGADÍOS ESPAÑOLES

## II Symposium Nacional

Composición y corrección de textos:  
Coordinador: Cristóbal de la Puerta  
Esauí Martínez Burgos  
Fernando Luis Martín Cros  
Carlos Aranda Morán

**Serie técnica**

  
Editorial Agrícola  
Española, s.a.



COLEGIO OFICIAL DE  
  
INGENIEROS  
AGRONOMOS  
DE CENTRO Y CANARIAS



DR. NORMAN E. BORLAUG

PREMIO NOBEL DE LA PAZ 1970  
COLEGIADO DE HONOR del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de  
Centro y Canarias.  
DOCTOR HONORIS CAUSA por la Universidad Politécnica de Madrid

# ÍNDICE DEL SYMPOSIUM

---

---

## INTRODUCCIÓN

- **El II Symposium Nacional. Los Regadíos Españoles. ....** 17  
D. Manuel L. Martín Antón  
*Director General del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas.*  
D. José María Mateo Box  
*Decano del Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias.*

## CONFERENCIAS

- **El regadío español en un mundo globalizado. ....** 23  
Prof. D. Jaime Lamo de Espinosa  
*Catedrático "Jean Monnet" de Economía Agraria.*
- **El agua y la agricultura Una visión sobre la investigación y el desarrollo en el siglo XXI. ....** 38  
Dr. D. Norman E. Borlaug  
*Dr. Ingeniero Agroforestal. Premio Nobel de la Paz 1970.*
- **El regadío en España: Tres Planteamientos del Pasado (Flores de Lemus, Lorenzo Pardo y Manuel de Torres). ....** 51  
Dr. D. Juan Velarde Fuertes  
*Catedrático de Estructura Económica de la Universidad Complutense de Madrid.*
- **Conferencia de Clausura. El Plan Nacional de Regadíos. ....** 61  
D. Ramón Blein Sánchez de León  
*Director del Gabinete del Ministro. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.*

## BLOQUES TEMÁTICOS

### **BLOQUE I: REGADÍO, PRODUCCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN AGRARIA**

- **Presidente:**  
D. Andrés del Campo García  
*Presidente de la Federación Nacional de Comunidades de Regantes de España.*

# EL AGUA Y LA AGRICULTURA UNA VISIÓN SOBRE LA INVESTIGACIÓN Y EL DESARROLLO EN EL SIGLO XXI

**Norman E. BORLAUG<sup>1</sup> y Christopher DOWSWELL<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Profesor Distinguido de Agricultura Internacional, Texas A&M University. Premio Nobel de la Paz 1970.*

<sup>2</sup> *Director de Coordinación de Programa. Asociación Sasakawa Africa.*

## **Introducción**

Es un placer para mí estar en Madrid y participar en el II Symposium Nacional LOS REGADÍOS ESPAÑOLES, organizado por el Colegio Oficial de Ingenieros Agrónomos de Centro y Canarias junto con el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX). Llevo 56 años de dedicación continua a la investigación y producción agrícola en países con déficit alimentario y bajo nivel de renta. He trabajado con muchos colegas, líderes políticos y agricultores para transformar sistemas de producción alimentaria de bajo rendimiento en otros de alto rendimiento.

Hoy hablaré del agua, especialmente de su relación con la agricultura del siglo XXI. ¿Cómo podemos continuar incrementando la producción alimentaria para una población creciente con los parámetros de disponibilidad probable de agua?. La inevitable conclusión es que la Humanidad está abocada a desarrollar en el siglo XXI una «Revolución Azul» que complemente la denominada «Revolución Verde» del siglo XX. La productividad del uso del agua debe acoplarse a la productividad del uso del suelo. La ciencia y la tecnología deben mostrar el camino.

El agua cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra. De este total, sólo alrededor de un 2,5% es agua dulce. La mayor parte del agua dulce de la Tierra se halla congelada en los casquetes polares ártico y antártico, en la humedad del suelo o en acuíferos profundos en los que no es fácilmente accesible para su uso humano. En realidad, menos del 1% del agua dulce del mundo –la que se encuentra en lagos, ríos, embalses y acuíferos subterráneos lo suficientemente superficiales para ser explotados de forma económica– está disponible para su uso directo (Organización Meteorológica Mundial, 1997). ¡Esto solamente supone en torno al 0,007% del agua total de la Tierra!

La agricultura supone el 93% del uso consuntivo global de agua. La agricultura de secano, que cubre el 83% de las tierras agrícolas mundiales, proporciona alrededor del 60% de la producción alimentaria mundial. La agricultura de regadío –que es responsable del 70% de las extracciones mundiales de agua– cubre sólo el 17% de las tierras cultivadas (unos 270 millones de hectáreas) y contribuye con casi el 40% de la producción alimentaria mundial (Tabla 1).

En el Informe de las Naciones Unidas de 1997 sobre Evaluación Mundial Completa de los Recursos de Agua Dulce, se estima que «aproximadamente una tercera parte de la población del mundo vive en países que están experimentando un estrés hídrico de medio a elevado, resultado de la demanda en aumento de una población y actividad humana crecientes». Se calcula que en 2025, alrededor de las dos terceras partes de la población del mundo estará en estrés hídrico.

**Tabla 1. Áreas agrícolas del mundo en regadío (datos en miles de ha)**

	1961	1970	1980	1990	1997
<b>Mundo</b>	<b>138.813</b>	<b>167.335</b>	<b>209.265</b>	<b>243.028</b>	<b>267.729</b>
Regiones y países seleccionados					
<b>Asia en desarrollo</b>	<b>87.000</b>	<b>105.859</b>	<b>128.961</b>	<b>151.397</b>	<b>172.055</b>
China	30.402	38.113	45.467	47.965	51.890
India	24.685	30.440	38.487	45.144	57.000
Pakistán	10.751	12.950	14.680	16.940	17.580
<b>América Latina</b>	<b>8.130</b>	<b>9.999</b>	<b>13.598</b>	<b>16.182</b>	<b>18.334</b>
Argentina	980	1.280	1.580	1.680	1.700
Brasil	490	796	1.600	2.700	3.169
Chile	1.075	1.118	1.255	1.265	1.270
Colombia	226	250	400	680	1.061
México	3.000	3.583	4.980	5.600	6.500
Perú	1.016	1.106	1.160	1.450	1.760
<b>África</b>	<b>6.556</b>	<b>7.426</b>	<b>8.279</b>	<b>9.853</b>	<b>11.044</b>
Egipto	2.568	2.843	2.445	2.648	3.300
Madagascar	300	330	645	1.000	1.090
Marruecos	875	920	1.217	1.258	1.251
Sudán	1.480	1.625	1.800	1.946	1.950
<b>Países desarrollados</b>	<b>37.036</b>	<b>44.050</b>	<b>58.426</b>	<b>65.615</b>	<b>66.291</b>
Australia	1.400	1.460	1.500	1.832	2.700
Francia	360	539	870	1.300	1.670
Italia	2.400	2.400	2.400	2.711	2.692
Japón	2.940	3.415	3.055	2.846	2.701
Sudáfrica	808	1.000	1.128	1.290	1.270
España	1.950	2.379	3.029	3.402	3.603
Rumania	206	731	2.301	3.109	3.089
Estados Unidos	14.000	16.000	20.582	20.900	21.400
URSS	9.400	11.100	17.200	20.800	*19.843

\*Suma de los países de la extinta Unión Soviética

Fuente: FAOSTAT, 1999

«La restricción de agua y la contaminación son la causa de la expansión de multitud de problemas sanitarios, de la limitación del crecimiento económico y del desarrollo agrícola, además de dañar una gran cantidad de ecosistemas. Es posible que pongan en peligro las fuentes de alimentos del mundo y provoquen el estancamiento económico en muchas zonas del mismo».

### **Los retos de la producción mundial de alimentos**

En 1998, la producción alimentaria mundial alcanzó los 5.030 millones de toneladas métricas de peso bruto, 2.480 de las cuales correspondían a materia seca comestible (Tabla 2). De este total, el 99% se produjo en tierra, y sólo el 1% restante procedía de los océanos y aguas continentales.

**Tabla 2. Producción Alimentaria Mundial**

Alimento	Producción (en millones de toneladas)		
	Peso total	Materia Comestible <sup>1</sup>	Proteína seca <sup>1</sup>
<b>Cereales</b>	<b>2.072</b>	<b>1.725</b>	<b>172</b>
Maíz	613	539	56
Trigo	589	519	61
Arroz	577	391	33
Cebada	139	122	12
Sorgo/Mijo	89	80	7
<b>Raíces y tubérculos</b>	<b>652</b>	<b>174</b>	<b>11</b>
Patata	299	65	8
Batata	139	42	2
Mandioca	162	60	1
<b>Legumbres y oleaginosas</b>	<b>162</b>	<b>110</b>	<b>38</b>
<b>Caña de azúcar y remolacha<sup>2</sup></b>	<b>152</b>	<b>152</b>	<b>0</b>
<b>Verduras y melones</b>	<b>615</b>	<b>72</b>	<b>6</b>
<b>Frutas</b>	<b>430</b>	<b>59</b>	<b>3</b>
<b>Productos animales</b>	<b>951</b>	<b>188</b>	<b>83</b>
Leche, carne, huevos	830	157	63
Pescado	121	31	22
<b>TOTAL</b>	<b>5.034</b>	<b>2.480</b>	<b>313</b>

<sup>1</sup> Referido a materia seca, excluyendo cáscaras y envolturas no comestibles.

<sup>2</sup> Sólo contenido en azúcares.

Fuente: FAOSTAT, 1999.

Los productos vegetales constituyen el 92% de la dieta humana, y son unas 30 especies las que suministran la mayor parte de las calorías y proteínas a escala mundial; entre ellas están ocho especies de cereales que en conjunto suponen el 70% del suministro mundial de



alimentos. Los productos animales aportan el 8% de la dieta mundial, y proceden a su vez de forma indirecta de vegetales.

Si los alimentos mundiales disponibles estuvieran distribuidos uniformemente, en 1998 hubieran proporcionado una dieta adecuada (de 2.350 calorías, principalmente procedente de granos) para unos 6.900 millones de personas, unos 900 millones más que la población mundial real. Sin embargo, si los países del Tercer Mundo intentaran obtener el 70% de sus calorías de productos de origen animal –como ocurre en Estados Unidos, Canadá o los países de la UE– solamente podría mantenerse una población mundial de 2.800 millones de personas, menos de la mitad que la actual.

Estas estadísticas indican dos problemas clave en la alimentación de la población mundial. El primero es la compleja tarea de producir suficiente cantidad de los alimentos requeridos para satisfacer las necesidades, y cómo llevar a cabo esta hercúlea misión de una manera económica y medioambientalmente sostenible. El segundo, igual o incluso más impresionante, es distribuir el alimento de forma equitativa. La *pobreza* es el principal impedimento para conseguirlo y, a su vez, es mayor por el rápido crecimiento de la población.

### **Previsión de la Demanda Mundial de Alimentos**

Durante la primera década del siglo XXI, es probable que la población mundial crezca en otros 1.000 millones de personas. La proyección media es que en 2025 se alcancen los 8.300 millones de personas, antes de que se estabilice, en el mejor de los casos, en los 10.000-11.000 millones al final del siglo XXI.

Al menos en el futuro predecible las plantas –y especialmente los cereales– continuarán aportando prácticamente toda la creciente demanda alimentaria. Incluso si el consumo actual *per capita* de alimento permanece constante, el crecimiento de la población requeriría que la producción mundial de alimentos se incrementara en 2.600 millones de toneladas brutas –o lo que es lo mismo, el 57%– entre 1990 y 2025. Sin embargo, si las dietas mejoran entre los indigentes hambrientos que se estima que son 1.000 millones de personas (principalmente en Asia y África), la demanda mundial de alimentos podría duplicarse– hasta 9.000 millones de toneladas– en estos 35 años.

Usando las tasas de crecimiento de la población mostradas anteriormente y los cambios esperados en la demanda *per capita* de cereal, hemos llegado a las predicciones de producción de cereal hasta el año 2025 (Tabla 3), y a los requisitos de incremento de rendimiento necesarios si suponemos que prácticamente todo el incremento de producción procederá de las zonas agrícolas ya existentes.

**Tabla 3. Demanda y producción mundial de cereal actual y prevista (en millones de toneladas) y rendimientos necesarios.**

	Producción actual	Demanda prevista		Rendimiento ( t/ha)		
		1990	2000	2025	Actual	Necesario
Trigo	600	740	1200	2,4	2,8	4,4
Arroz	520	640	1030	2,4	3,1	5,3
Maíz	480	620	1070	3,7	4,1	5,8
Cebada	180	220	350	2,3	2,7	4,1
Sorgo/ Mijo	85	110	180	1,5	1,8	2,6
<b>Total cereales</b>	<b>1970</b>	<b>2450</b>	<b>3970</b>	<b>2,5</b>	<b>2,9</b>	<b>4,5</b>

Fuente: Anuario de Producción FAO y estimaciones de los autores.

### **Retos Futuros en la Investigación de Cultivos**

Los investigadores agrícolas y los agricultores de todo el mundo afrontan el reto de desarrollar y aplicar una tecnología que permita incrementar los rendimientos de cereal un 50-75% durante los próximos 25 años, y de manera que sea económica y medioambientalmente sostenible. Una gran parte de este incremento de rendimiento procederá de la aplicación de tecnología ya existente. Pero habrá también nuevos avances de investigación, especialmente en selección vegetal para mejorar la estabilidad de rendimientos y, esperemos, un máximo potencial genético del rendimiento.

**Mejora genética.**— La continua mejora genética de los cultivos alimentarios— usando las herramientas de investigación tanto convencionales como biotecnológicas— es necesaria para elevar el límite del rendimiento e incrementar su estabilidad. En arroz y trigo, se están siguiendo tres estrategias distintas pero interrelacionadas para incrementar el máximo potencial genético de rendimiento: cambios en la estructura de la planta, hibridación y utilización de recursos genéticos más amplios (Rajaram y Borlaug, 1996; Pingali y Rajaram, 1997). Se han alcanzado progresos importantes en estas tres áreas. El IRRI se mantiene optimista sobre el desarrollo del nuevo «super arroz», con menos hijuelos pero más productivos. Aunque aún faltan probablemente de 10 a 12 años para su difusión generalizada en los campos de producción, el IRRI afirma que este tipo de planta, unido a los sistemas de siembra directa, podría incrementar el potencial de rendimiento del arroz de un 20 a un 25 % (Kush, 1995).

En trigo, nuevas plantas con una estructura similar a los «super arroces» (espigas más grandes con más grano y menos ahijamiento) podrían llevar a un incremento del rendimiento potencial del 10 al 15% en comparación con la progenie de Primavera X Invierno Veery (Rajaram y Borlaug, 1997). Introducing genes de especies silvestres próximas genéticamente en el trigo cultivado, se podrían introducir importantes fuentes de resistencia a diferentes estrés bióticos y abióticos, y también para mayor rendimiento potencial, especialmente si los trigos sintéticos se usan como progenitores en la producción de trigos híbridos (Kazi y Hettel, 1995).

El éxito del arroz híbrido en China (que ahora cubre más del 50% de la superficie de regadío) ha llevado a un renovado interés en el trigo híbrido, cuando la mayor parte de la investigación había cesado por varias razones, principalmente la baja heterosis (que intenta aprovechar la esterilidad citoplásmica masculina), y por los altos costes de producción de semillas. Sin embargo, mejoras recientes en agentes químicos de hibridación, avances biotecnológicos y la aparición del nuevo tipo de planta de trigo han dado valor a los híbridos. Con una mejor heterosis y un mejor llenado de granos, la frontera del rendimiento de los nuevos materiales vegetales podría ser de un 15 a un 20 % superior (espigas más grandes con más grano y con un menor porcentaje de fibra) a la del germoplasma base actual.

La producción de maíz ha empezado a despegar en muchos países asiáticos, especialmente en China. Este país tiene, hoy en día, el rendimiento medio más alto de todos los cereales en Asia, y con gran parte del potencial genético de rendimiento aún por explotar. Además, recientes avances con híbridos y variedades de maíces de calidad proteica de alto rendimiento (QPM), pueden mejorar la calidad nutricional del grano sin sacrificar su rendimiento. Este logro –que se ha retrasado casi una década debido a financiación inadecuada– ofrece importantes beneficios nutricionales para hombres y ganados. Con las herramientas biotecnológicas, es probable que podamos ver una gama de mejoras de calidad nutritiva incorporadas a los cereales en los años venideros.

Hay una evidencia creciente de que existe variabilidad genética dentro de la mayoría de las especies de cereales para genotipos que son más eficientes en el uso de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes, comúnmente disponibles en las mejores variedades e híbridos. Además, hay buenas evidencias de la posibilidad de acumular tolerancia adicional al calor y a la sequía en germoplasmas de alto rendimiento.

**Gestión de cultivos.**– La productividad de los cultivos depende tanto del rendimiento potencial de las variedades, como del manejo del cultivo empleado para mejorar la eficiencia de insumos y productos. Las ganancias en la productividad del manejo pueden realizarse a lo largo de todo el proceso en las labores, el uso del agua, la fertilización, el control de plagas y malas hierbas y la recolección.

Un ejemplo destacado de la nueva Revolución tecnológica Verde/Azul en la producción de trigo es el denominado "bed planting system", que tiene múltiples ventajas sobre otros sistemas de siembra convencionales. La altura de la planta y el encamado se reducen, lo que lleva a un 5 a 10% de incremento en rendimiento y una mejora de calidad del grano. El uso de agua se reduce en un 30%, ¡que es un ahorro espectacular!. La eficiencia de los medios de producción (fertilizantes y fitosanitarios) se mejora también mucho, lo que permite una reducción total de insumos de alrededor de un 30%.

Ya adoptado en México, y creciendo en aceptación en otros países, la provincia de Shandong y otras partes de China, se están preparando para extender esta tecnología rápidamente (comunicación personal del Prof. Xu Huisan, Presidente de la Academia de Ciencias Agrarias de Shandong, 7 de julio de 1999). ¡Piensen sobre las implicaciones de esta tecnología en el uso y la calidad del agua!.

El laboreo de conservación (no laboreo, mínimo laboreo) se está extendiendo rápidamente en el mundo agrícola. La empresa Monsanto estima que en 1996 había 75,3 millones de hectáreas cultivadas con este sistema, y se prevé que lleguen hasta los 95,5 millones en 2000 (Memoria anual, 1997).

El laboreo de conservación ofrece muchos beneficios. Al reducir y/o eliminar las labores, disminuye significativamente el tiempo de preparación en tierras con dos y tres cultivos al año, especialmente en rotaciones como arroz/trigo y algodón/trigo. Ésto lleva a producciones más altas y menores costes de producción. El laboreo de conservación también controla las poblaciones de malas hierbas y reduce de manera significativa el tiempo que las familias de los pequeños agricultores deben dedicar a este duro trabajo. Finalmente, el acolchado que queda sobre el suelo reduce su erosión, favorece la retención de agua y acumula materia orgánica en el suelo, todos ellos factores muy importantes en la conservación de los recursos naturales.

### **Investigación y desarrollo sobre recursos hidrológicos**

La superficie mundial de regadío se ha duplicado entre 1961 y 1996 –de 139 a 268 millones de hectáreas. En la mayoría de estos sistemas, no se hicieron las inversiones apropiadas en sistemas de drenaje para evitar que los niveles freáticos asciendan demasiado, lo que supondría que las sales ascendieran por el perfil del suelo hasta alcanzar la superficie. Todos conocemos las consecuencias: salinizaciones serias de muchas zonas de regadío, especialmente en zonas áridas, y encharcamientos en zonas húmedas. En particular, muchos sistemas de riego en Asia –que suponen cerca de las dos terceras partes del total mundial– están afectados por ambos problemas. El resultado es que la mayor parte de los fondos destinados a regadío acaban siendo utilizados para gastos de reparación de sistemas mal diseñados, en lugar de servir para poner nuevas zonas en riego. Los gobiernos deben invertir en sistemas de drenaje en las zonas de regadío establecidas, de tal manera que el actual proceso de salinización y encharcamiento se detenga.

En nuevas zonas de regadío, los sistemas de saneamiento y drenaje se deben incluir en los presupuestos desde el inicio del proyecto. Por desgracia, añadir estos costes al proyecto original supondrá a menudo una escasa remuneración de la inversión. En ese caso, la sociedad deberá decidir cuánto está dispuesta a pagar por el desarrollo de nuevos regadíos.

Hay muchas tecnologías que permiten reducir el uso de agua. Las aguas residuales pueden ser tratadas y usadas para el riego. Esto podría ser una fuente de agua especialmente importante para la agricultura periurbana, que está creciendo rápidamente alrededor de muchas de las grandes ciudades del mundo. El agua puede ser distribuida de forma mucho más eficiente a las plantas y de maneras que eviten el encharcamiento del suelo y la salinización. Los cambios hacia nuevos cultivos que requieran menos agua (y/o nuevas variedades mejoradas), junto con rotaciones de cultivos más eficientes y la siembra a tiempo, pueden también lograr ahorros significativos en el uso del agua.

Tecnologías ya contrastadas, tales como el riego por goteo, que ahorra agua y reduce la salinidad del suelo, son apropiadas para unas superficies mayores que las actualmente

usadas. Varios sistemas nuevos de regadío de precisión están ya en el horizonte, que aportarán agua a las plantas sólo cuando lo necesiten. También hay una serie de sistemas mejorados de riego a pequeña escala y suplementario que incrementan la productividad de zonas de secano, lo que ofrece grandes esperanzas a los pequeños agricultores.

Está claro que debemos cambiar nuestra actitud ante el agua y abandonar nuestra idea de que es un bien casi gratuito y un derecho donado por Dios. Fijar unos precios del agua más próximos a su coste real es un paso necesario para mejorar la eficiencia de su uso. Los agricultores y los gestores de los regadíos (así como los consumidores urbanos) necesitarán incentivos para ahorrar agua. Además, la gestión de las redes de distribución de agua, excepto los canales principales, debería estar descentralizada y cedida a los agricultores. Las asociaciones de regantes en el Valle Yaqui en el noroeste de México, por ejemplo, han hecho un mejor trabajo de gestión de sus distritos de riego que el que hizo anteriormente el Ministerio Federal de Agricultura y Recursos Hídricos.

### **¿Qué podemos esperar de la Biotecnología?**

Durante el siglo XX, la mejora genética convencional ha producido un vasto número de variedades e híbridos que ha contribuido inmensamente a aumentar el rendimiento de grano, la estabilidad de las cosechas y los ingresos del agricultor. Ha habido, por otro lado, importantes mejoras en la resistencia a enfermedades e insectos y en la tolerancia a una variedad de estrés abióticos, especialmente en toxicidades en suelo, pero debemos seguir esforzándonos en aumentar el máximo potencial genético si queremos afrontar el reto de la demanda de alimento prevista para el futuro.

Lo que empezó como una biotecnología triunfalista hace casi 20 años ha desarrollado nuevas y valiosísimas metodologías científicas y productos, que necesitan un activo apoyo financiero y organizativo que les permita fructificar en métodos de producción de alimentos y fibras. Hasta ahora, la biotecnología ha tenido el mayor impacto en medicina y sanidad. Sin embargo, hay una serie de fascinantes desarrollos que se acercan a su aplicación comercial en agricultura. En biotecnología animal, tenemos la Somatotropina Bovina (BST), ya ampliamente usada para aumentar la producción de leche.

Las variedades e híbridos transgénicos de algodón, maíz y patatas que contienen genes de *Bacillus thuringiensis*, que controlan varias serias plagas de insectos, se están introduciendo comercialmente con éxito en Estados Unidos y otros países. El uso de esas variedades reducirá en gran medida la necesidad de aplicaciones de insecticidas. También se ha conseguido un considerable progreso en el desarrollo de plantas transgénicas de colza, soja, remolacha y trigo, con tolerancia a una gama de herbicidas. Ésto puede llevar a una reducción en el uso total de herbicidas mediante aplicaciones y dosis mucho más específicas. Con ello no sólo se rebajarán los costes de producción, sino que también tiene importantes ventajas medioambientales.

Se ha hecho un gran progreso en el desarrollo de variedades de cereales con mayor tolerancia a suelos alcalinos y a toxicidades por aluminio y hierro. Estas variedades ayudarán a aminorar los problemas de degradación del suelo que han surgido en muchas zonas

regables actuales. Han permitido el éxito de la agricultura en áreas de suelos ácidos, como los *Cerrados* de Brasil, y mejorarán la producción de los suelos ácidos de África Central e Indonesia, añadiendo más tierras cultivables a las disponibles a escala mundial. Una mayor tolerancia hacia condiciones abióticas extremas como sequía, calor y frío, beneficiarán de distintas maneras a las áreas en regadío. En primer lugar, seremos capaces de conseguir "más cosecha por gota" al diseñar plantas con necesidades de agua reducidas y sistemas de manejo integrados cultivo/agua. Las técnicas de ADN recombinante pueden acelerar el proceso de desarrollo.

La producción de plantas transgénicas para el control de enfermedades virales y fúngicas no está tan avanzada. Sin embargo, ya se usan comercialmente genes de cápsulas de virus específicos en variedades transgénicas de patatas, papaya y arroz que confieren una protección considerable. Otros genes prometedores para la resistencia a enfermedades están siendo incorporados a otras especies cultivadas mediante manipulación transgénica.

La mayor parte de los agrónomos –yo incluido– prevén grandes beneficios de la biotecnología para ayudar a cubrir nuestras necesidades futuras de alimentos y fibra. Sin embargo, como la mayor parte de esta investigación se está haciendo en el sector privado, que patenta sus inventos, los políticos agrícolas se enfrentan a un problema potencialmente serio. ¿Cómo serán capaces los agricultores del mundo con pocos recursos, de acceder a los productos de la investigación biotecnológica? ¿Hasta cuándo y en qué términos deberían ser registradas las patentes de productos obtenidos por bioingeniería?. Más aún, el alto coste de la investigación biotecnológica lleva a una rápida consolidación por compañías privadas de la propiedad de la biología agrícola. ¿Es ésto deseable?. Estos temas son materias a considerar seriamente por parte de las organizaciones gubernamentales mundiales, regionales y nacionales.

Con todo, los gobiernos de las naciones necesitan estar preparados para trabajar con –y beneficiarse de– los nuevos avances biotecnológicos. En primer lugar y sobre todo, los gobiernos deben establecer un marco legal que guíe los ensayos y usos de los cultivos modificados genéticamente. Estas normas y regulaciones deberían ser razonables en términos de minimizar riesgos y economizar en su establecimiento. No atemos las manos de la ciencia con unas regulaciones excesivamente restrictivas. Dado que gran parte de la investigación biotecnológica se realiza en el sector privado, el tema de los derechos de propiedad intelectual debe ser afrontado y acordar medidas adecuadas de salvaguardia por parte de los gobiernos.

### **Enfrentándose a la multitud "anti-ciencia"**

La ciencia y la tecnología son crecientemente atacadas en las naciones ricas, donde algunos ecologistas mal informados proclaman que el consumidor está siendo envenenado hasta la muerte por los actuales sistemas de producción agrícola de alto rendimiento. Aunque intento convencerme de que esto no es así, a menudo me pregunto cómo es posible que tanta gente supuestamente «educada» sea tan ignorante en lo referente a la ciencia. Parece haber un miedo creciente a la ciencia, *per se*, a medida que el ritmo de los avances tecnológicos aumenta. La fisión del átomo y las perspectivas de un holocausto nuclear se añaden al miedo

de la gente y generan una separación creciente entre el científico y el profano. El mundo se estaba haciendo cada vez más innatural y la ciencia, la tecnología y la industria son vistos como las culpables. El libro «La Primavera Silenciosa», de Rachel Carson, publicado en 1962, informaba que los venenos estaban en todas partes y matarían primero a los pájaros y finalmente al ser humano, tocando una fibra muy sensible.

Por supuesto, este punto de vista no era totalmente infundado. A mediados del siglo XX la calidad del aire y del agua habían sido seriamente dañadas por los sistemas industriales de producción contaminantes, que expulsaban sus desechos a menudo literalmente «en nuestros patios». En los últimos treinta años todos tenemos una deuda de gratitud con el movimiento ecologista de las naciones industrializadas que ha conducido la legislación hacia la mejora de la calidad del agua y el aire, la protección de la vida salvaje, el control de la eliminación de los residuos tóxicos, la protección de los suelos y la reducción de la pérdida de biodiversidad.

Aún así, en casi todos los aspectos del medio ambiente se están haciendo más progresos que los que están dispuestos a admitir la mayoría de los medios de comunicación, al menos en el mundo industrializado. ¿Por qué? Yo creo que se debe a que el «apocalipsis vende». Tristemente, demasiados científicos que deberían tener y tienen un conocimiento claro se han subido al tren del medio ambiente en busca de fondos para la investigación.

¿Qué debemos pensar cuando los científicos se alían con movimientos políticos anti-ciencia, como es el caso de la multitud antibiotecnología? ¿Qué debemos pensar cuando los científicos prestan sus nombres a propuestas acientíficas? ¿Debe extrañar que la ciencia esté perdiendo su prestigio?. Debemos estar en guardia contra los oportunistas políticos, los pseudocientíficos como T.D. Lysenko, cuyas peregrinas ideas y su persecución viciosa de todos aquéllos que no estuvieran de acuerdo con él, contribuyeron grandemente al hundimiento de la antigua URSS.

A menudo pregunto a los críticos de la tecnología agrícola moderna qué hubiera sido del mundo sin los avances tecnológicos que han tenido lugar. Para aquéllos cuyo principal interés es proteger el «medio ambiente», veamos el impacto positivo que la tecnología con fundamento científico ha tenido en la tierra.

Si se mantuvieran hoy los rendimientos medios de cereal que tenía Asia en 1961 (930 kg/ha), habrían sido necesarias cerca de 600 millones de hectáreas de suelo adicionales –de la misma calidad– para igualar la cosecha de 1997. Obviamente, este terreno adicional no estaba disponible en la poblada Asia. Más aún, en el caso de que estuviera disponible, ¡pensemos en la erosión, en la segura pérdida de bosques, pastizales, de especies salvajes por el uso de las tecnologías de bajos insumos para producir esas grandes cosechas!.

En sus escritos, el profesor Robert Paalberg, del Wellesley College, en la Universidad de Harvard, ha hecho sonar la alarma sobre las consecuencias del debate debilitador entre agriculturalistas y medioambientalistas sobre lo que constituye la denominada «agricultura sostenible» en el Tercer Mundo. Este debate ha confundido –si no paralizado– a muchos donantes en la comunidad internacional, que, temerosos de enfrentarse a poderosos grupos

de presión medioambientales, han dejado de apoyar proyectos científicos de modernización agrícola aún necesarios para muchos pequeños agricultores de Asia, el África subsahariana y Latinoamérica. Este escollo debe superarse. No podemos perder de vista el enorme trabajo que tenemos por delante para alimentar a 10.000 u 11.000 millones de personas, muchas –en realidad probablemente la mayoría– de las cuales comenzarán su vida en la más profunda pobreza. Sólo a través del desarrollo agrícola dinámico habrá alguna esperanza de aliviar la pobreza y mejorar la salud humana y la productividad.

Los agricultores necesitan ser motivados para adoptar muchas de las deseadas mejoras en el uso eficiente de los medios de producción (agua de riego, fertilizantes, fitosanitarios). Esto requerirá una doble estrategia, en la que las reducciones de las ayudas financieras estén unidas a programas de formación y extensión agresivos que incrementen la eficiencia del uso de los insumos. Es necesario descentralizar muchas de las organizaciones de extensión y de investigación agrícola, orientarlas más firmemente al agricultor y unirlas más estrechamente al proceso de generación y disseminación de tecnología. La educación primaria y secundaria universal en las áreas rurales –para chicos y chicas– es imperativa y se le debe dar la más alta prioridad. Deben encontrarse asimismo procedimientos para mejorar el acceso a la información de los agricultores menos formados, por razones de equidad y también para facilitar la adopción acelerada de las nuevas tecnologías intensivas en conocimiento.

### **Comentarios finales**

Hace treinta años, en mi alocución de aceptación del Premio Nobel de la Paz, dije que la Revolución Verde había obtenido un éxito temporal en la guerra del hombre contra el hambre, y que, si se desarrollaba completamente, podría aportar suficiente alimento para la humanidad hasta finales del siglo XX. Pero advertí que, a menos que se flexionase la temible capacidad humana de reproducción, el éxito de la Revolución Verde solamente sería efímero.

Ahora digo que el mundo tiene la tecnología –bien ya disponible o muy avanzada en el proceso de investigación– para alimentar una población de diez mil millones de personas. La pregunta más importante hoy es si se permitirá a los agricultores y ganaderos el uso de esta nueva tecnología.

Los elitistas medioambientales extremos parecen estar haciendo todo lo posible para detener el progreso científico. Grupos pequeños, bien financiados, vociferantes y anti-ciencia están amenazando el desarrollo y la aplicación de nueva tecnología, ya sea desarrollada a partir de la biotecnología o por otros medios más convencionales de la agronomía.

Comparto plenamente la declaración escrita por el profesor C. S. Prakash de la Universidad de Tuskegee, y suscrita ya por varios miles de científicos en apoyo de la biotecnología agrícola, de que «ningún alimento, producido sea con técnicas de ADN recombinante u otros métodos más tradicionales, carece totalmente de riesgos. Los riesgos que conllevan los alimentos están en función de sus características biológicas y de los genes específicos usados, no de los procesos empleados en su desarrollo».



Mientras que las naciones ricas pueden permitirse adoptar posiciones elitistas y según modas, pagar más por alimentos producidos mediante los denominados métodos «orgánicos», los mil millones de personas crónicamente malnutridas de las naciones con déficit alimentario y de bajos ingresos, no pueden. Sólo a través de mejoras significativas en la productividad del trabajo se pueden mejorar las rentas agrícolas y reducir la pobreza. Obviamente, el aumento de renta permitirá a los agricultores hacer más inversiones en la conservación de recursos. Como le gusta al arqueólogo keniano Richard Leakey recordar a sus seguidores ecologistas, «¡tienes que estar bien alimentado para ser un conservacionista!».

Con toda seguridad, los líderes y científicos agrícolas tienen la obligación moral de advertir a los líderes políticos, educativos y religiosos sobre la magnitud y seriedad de los problemas de las tierras cultivables, los alimentos y la población que tenemos por delante. Si fallamos en hacer ésto de manera contundente seremos negligentes en nuestra obligación e involuntariamente estaremos contribuyendo al amenazante caos de incalculables millones de muertes por inanición. El problema no desaparecerá por sí solo; de continuar ignorándolo, la solución futura será más difícil de alcanzar.

## REFERENCIAS

- Byerlee, D. 1992. Technical change, productivity, and sustainability in irrigated cropping systems of South Asia: Emerging issues in the post-Green Revolution era. *Journal of International Development* 4(5): 477-496.
- Byerlee, D. 1996. Knowledge-Intensive Crop Management Technologies. Concepts, Impacts, and Prospects in Asian Agriculture. *International Rice Research Conference*, Bangkok, Thailand, 3-5 June, 1996.
- Kush, G.S. 1995. Modern varieties—their real contribution to food supply and equity. *Geojournal* 35(3), 275-284.
- Morris, M. y Byerlee, D. 1998. Maintaining Productivity Gains in Post-Green Revolution Asian Agriculture. En *International Agricultural Development*. 3ª Edición. Eds.: Carl K. Eicher y John Staatz. John Hopkins University Press. Baltimore y Londres.
- Mujeeb-Kazi, A., y Hettel, G.P., eds. 1995. Utilizing Wild Grass Biodiversity in Wheat Improvement –15 Years of Research in Mexico for Global Wheat Improvement. *Wheat Special Report N° 29*. CIMMYT. México D.F.
- Organización Meteorológica Mundial. 1997. Comprehensive Assessment of the Freshwater Resources of the World.
- Pingali, P.L. y Rajaram, S. 1997. «Technological Opportunities for Sustaining Wheat Productivity Growth». Comunicación presentada en el World Food and Sustainable Agriculture Program Conference: *Meeting the Demand for Food in the 21<sup>st</sup> Century: Challenges and Opportunities for Illinois Agriculture*. Urbana (Illinois), 27 de mayo, 1997.

- Rajaram, S. y Borlaug, N.E. 1997. «Approaches to Breeding for Wide Adaptation, Yield Potential, Rust Resistance and Drought Tolerance». Comunicación presentada en el *Primer Simposio Internacional de Trigo*. Ciudad Obregón (México), 7 a 9 de abril, 1997.
- Reino Unido. 1997. *Eliminating World Poverty: A Challenge for the 21<sup>st</sup> Century*. Libro Blanco presentado al Parlamento por el Secretario de Estado para Desarrollo Internacional.
- Rosegrant, M.W, Agcaoili-Sombilla, M., y Pérez, N.D. 1995. *Global Food Projections to 2020*. IFPRI. Washington D.F.