

Trayectoria reciente de la agricultura y la alimentación: retos del futuro

ELÍAS FERERES (*)

Durante milenios, el hombre se ha enfrentado cotidianamente al desafío de conseguir suficientes alimentos para subsistir. A pesar de ser una preocupación rutinaria, no hay un desafío que haya tenido mayor importancia para la Humanidad hasta una época muy reciente. Hoy día el reto de conseguir suficientes alimentos ya parece trivial para un alto porcentaje de la población, aunque siga siendo una barrera casi infranqueable para tantos millones de personas sumergidas en la pobreza. El objeto de este artículo es analizar lo sucedido en décadas recientes en el ámbito de la agricultura y alimentación mundial y explorar como puedan evolucionar los sistemas agrarios y alimentarios en un futuro. Un título tan ambicioso como el que encabeza estas líneas debería ser objeto de un tratado más que de un artículo que, al ser necesariamente breve, obliga a que solamente un pequeño conjunto de ideas sean tratadas en este texto.

1. LA AGRICULTURA EN EL SIGLO XX: UN LARGO PERÍODO DE ÉXITOS

No es ninguna novedad que la trayectoria de la agricultura en la segunda mitad del Siglo XX ha sido espectacular. Se podrán aportar avances parecidos en todos los ámbitos de la ciencia y la técnica, pero no cabe duda de que la población humana no hubiese podido duplicarse sin los avances de la agricultura. Lo extraordinariamente nota-

(*) *Instituto de Agricultura Sostenible-CSIC y Universidad de Córdoba.*

- Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros, n.º 224, 2009 (111-124).

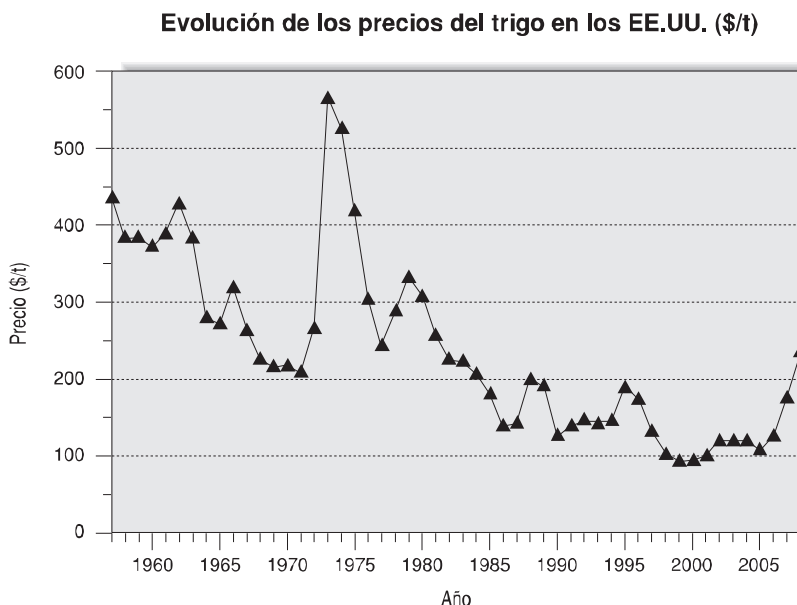
ble de dichos avances es que, no solo permitieron la alimentación de una población creciente al nivel que tenía en 1950 (menos de 3.000 millones de personas a unas 2.000 cal/día, *per cápita*), sino que se incrementó la disponibilidad de alimentos *per cápita* para una población que al final del siglo excedía los 6.000 millones (mas de 2.800 cal/día). El éxito de la agricultura ha sido tal que se ha tomado como algo normal y hoy día se supone que los sistemas agrarios podrán suministrar suficientes alimentos, cualquiera que sea la demanda. Podría decirse, sin embargo, que tanto éxito no le ha sentado bien a la agricultura en la actualidad.

Aunque el despegue definitivo de la agricultura actual tuvo lugar después de la Segunda Guerra Mundial, los inicios habían tenido lugar antes. La visión de una agricultura más productiva comenzó con la revolución industrial en el Siglo XIX, cuando aumentaron los conocimientos científicos y sus aplicaciones técnicas. Cabe destacar, entre otros, los esfuerzos en EE.UU. al crear una serie de universidades centradas en la agricultura y la mecánica (aún hoy, algunas conservan ese nombre), las estaciones experimentales y los servicios de extensión agraria para divulgar las nuevas técnicas, todo ello antes de terminar el siglo XIX. Es también instructivo estudiar la evolución histórica de la agricultura australiana desde esa época hasta nuestros días. Fischer (2009) muestra un gráfico original de J. Angus donde se representan los rendimientos medios de trigo por décadas desde 1860. Entre 1860 y 1900, el rendimiento del trigo disminuyó debido al agotamiento de los nutrientes en el suelo, ya que entonces no se abonaba. A partir de principios de siglo, la producción se incrementa lentamente hasta 1960, debido a las aplicaciones de superfosfato, la aparición de nuevas variedades y de la práctica del barbecho. Este incremento solo permitió que los rendimientos medios de la década de los 50 volviesen al nivel que tuvieron en 1870. Los avances de la agricultura a partir de 1960, han llevado a duplicar el rendimiento registrado en 1950. La mecanización, la introducción de otros cultivos en rotación, los aportes de fertilizantes nitrogenados, los herbicidas y la mejora genética, entre otros, han sido los factores técnicos responsables, a pesar de la gran limitación hídrica, de la duplicación del rendimiento del trigo en Australia en los últimos 60 años.

Al igual que en el caso australiano, la aceleración de los aumentos en la productividad agrícola se produjo en los países avanzados a partir de 1950 y dichos avances se vieron directamente reflejados en la bajada de los precios de los productos agrarios desde entonces. Dicha bajada en los precios ha sido clave para facilitar la alimentación de una población que crecía a una tasa sin precedentes en la historia de

la Humanidad. Como ejemplo, el gráfico 1 muestra la evolución de los precios del trigo en los EE.UU., con una caída notable y casi constante, solo alterada por dos movimientos especulativos directamente relacionados con los de los precios de la energía. Pero los incrementos en la productividad agrícola no se produjeron solamente en los países desarrollados. Muy pronto, países en desarrollo muy destacados, se unieron a ese movimiento de intensificación de la agricultura. La llamada Revolución Verde, que permitió el despegue de los rendimientos, se suele asociar con el desarrollo agrario de los países en desarrollo, sobre todo de Asia, si bien se extendió a los demás continentes, cambiando la agricultura de todos los países en un grado variable, según sus circunstancias políticas, socioeconómicas y culturales.

Gráfico 1

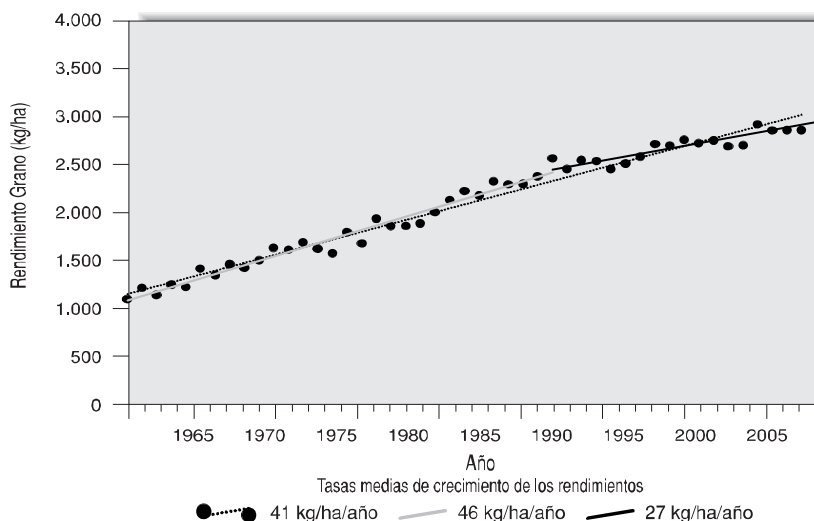


Fuente: Tomado de Fereres y González-Dugo (2009).

La mejor prueba del éxito de la intensificación de la producción agraria es la evolución del promedio mundial de los rendimientos de los principales cultivos. El gráfico 2 muestra el crecimiento de los rendimientos mundiales de trigo, a una tasa media superior a 45 kg/ha/año entre 1960 y 1990. Durante este período, la combinación entre la mejora genética, aportando nuevas variedades, y la

Gráfico 2

Evolución de los rendimientos mundiales de trigo (kg/ha), mostrando las regresiones lineales para las series de datos entre 1960 y 1990; con posterioridad a 1990 y la total, entre 1960 y 2007



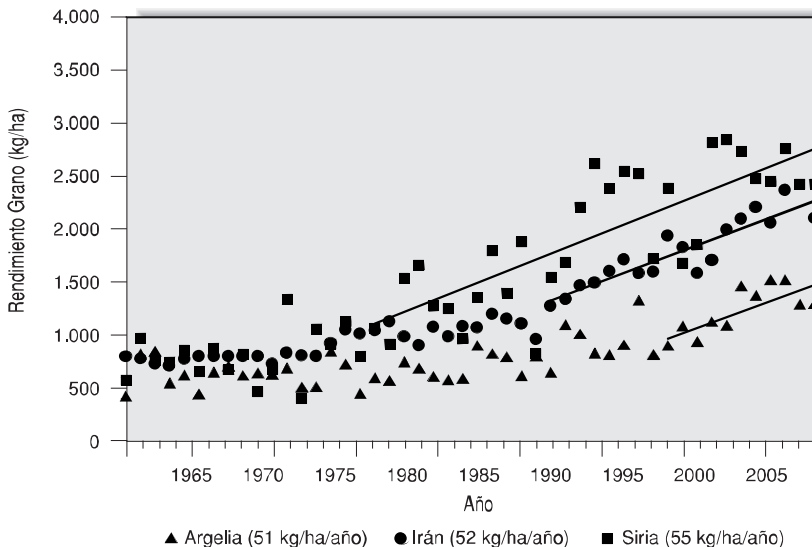
Fuente: FAOstats.

agronomía, mejorando las técnicas de cultivo, sostuvieron un aumento continuo de los rendimientos. El despegue de los rendimientos en los distintos países se fue produciendo en diferentes momentos a lo largo de este período, y en algunos casos aún no se ha producido. El gráfico 3 muestra las series de valores del rendimiento de trigo para tres países, Argelia, Siria e Irán. En ella puede verse que el cambio en la pendiente hacia una mayor productividad se produjo primero en Siria, hacia 1975. Dicho cambio tuvo lugar bastante más tarde en Irán, hacia 1990 y finalmente, en Argelia parece que los rendimientos no despegan hasta después de 1995 (gráfico 3). Las causas de estas diferencias son complejas y no están relacionadas directamente con los avances científico-técnicos de la Revolución Verde.

No es fácil ofrecer una explicación completa al crecimiento de los rendimientos de los principales cultivos en el período citado, pero no cabe duda que en la raíz de los cambios que se produjeron, están los esfuerzos en investigación agraria. Además de las actividades nacionales en investigación agraria, después de 1945 se produjo un esfuerzo internacional que sin duda contribuyó al éxito obtenido. Hay que destacar varios aspectos de la investigación agraria internacional (IAI) que tuvo lugar, particularmente, entre 1945 y 1990; una,

Gráfico 3

Evolución del rendimiento de trigo (kg/ha) para Argelia, Siria e Irán



Fuente: FAOstats.

es la participación de fundaciones privadas, las cuales acertadamente apostaron desde el principio por invertir en esta actividad, conscientes de la urgente necesidad de incrementar la producción de alimentos. Otra, fue la capacidad para atraer a los mejores investigadores para trabajar en países en desarrollo y aportar sus conocimientos dentro de un enfoque multidisciplinar, el cual permitió la generación de productos listos para ser utilizados por los agricultores. La IAI se organizó como una red de centros internacionales de investigación (Consultative Group of International Agricultural Research, CGIAR) apoyada por numerosos países y algunas fundaciones y con centros tan reconocidos como el Centro de mejoramiento del maíz y el trigo (CIMMYT) en México y el Instituto de investigación del arroz en Filipinas (IRRI). A otro centro creado en Siria a principios de los 70, el ICARDA, puede atribuirse parte de los avances que causaron el temprano despegue de los rendimientos de trigo de ese país (gráfico 3). De algunos centros del CGIAR surgieron las nuevas variedades de baja estatura de trigo y arroz, las cuales, conjuntamente con los avances en agronomía, están en el origen de la aceleración en la subida de los rendimientos a partir de principios de 1960. Como ejemplo del reconocimiento que recibió este esfuerzo puede destacarse la concesión del Premio Nobel de la Paz a Norman Bor-

laug, director del programa de trigo del CIMMYT, en 1970. En esta concesión se reconocían las aportaciones de la investigación agraria a la paz mundial a través del aumento en la producción de alimentos.

La intensificación de la producción agraria fue una vía adecuada para producir alimentos suficientes para la mayoría de la población en las décadas citadas. Aunque los aumentos de la producción se suelen atribuir a la aparición de las nuevas variedades mediante mejora genética, es importante explicar los fundamentos en los que se basan dichos aumentos por si en ellos pudieran basarse futuros aumentos en la producción. La aparición de las nuevas variedades enanas permitió la aplicación de niveles elevados de nitrógeno, elemento esencial para incrementar la producción de biomasa y el rendimiento en grano, y la pregunta es si el aumento de rendimientos se debe atribuir más a la mejora genética o a la agronomía. Fischer (2009) explica magistralmente como se produce una interacción positiva entre la mejora –un nuevo genotipo– y la agronomía –conjunto de factores de producción–, lo que incrementa más el rendimiento que si se consideran ambas partes por separado. Numerosas comparaciones entre variedades de distinto rendimiento potencial bajo diferentes niveles de intensificación han demostrado la sinergia que se produce entre las nuevas variedades y las prácticas agronómicas. Como indica Fischer (2009), dicha sinergia es parte de un fenómeno más general descubierto por uno de los mejores agrónomos del Siglo XX, De Wit (1992), y que no ha recibido la atención que merece. El análisis de De Wit (1992) demuestra que los factores de producción se usan más eficientemente cuanto más elevados sean los rendimientos. Ello desacredita el uso simplista de la ley de los rendimientos decrecientes, habitualmente citada en el uso de un solo factor de producción y lo que es más importante, justificaría la intensificación de la producción desde el punto de vista de un uso más eficiente de los recursos. Como se discute más adelante, este punto de vista es crítico para afrontar los retos del futuro.

2. LA EVOLUCIÓN EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS: ¿CAMBIA LA TENDENCIA?

Hacia 1980, la producción mundial de alimentos aumentaba de manera continua y parecía que el problema de alimentar a la Humanidad estaba en vías de resolverse definitivamente. Los aumentos de productividad en los países más avanzados llevaban a nuevas preocupaciones sobre excedentes de la producción y a cambios en la política agraria para limitar dichos excedentes. Sin embargo, aparecían nuevos problemas a escalas superiores a la de una finca como resul-

tado de las prácticas asociadas a la intensificación. Los excesos en la aplicación de fertilizantes y plaguicidas, inducidos por una política que primaba la obtención de los más elevados rendimientos, empezaron a generar una contaminación difusa que afectaba negativamente a los ecosistemas colindantes. Las prácticas de laboreo en suelos frágiles incrementaban las tasas de erosión de los suelos por encima de lo tolerable. La extensión de la Revolución Verde a África no daba los resultados esperados por razones complejas y el aumento de la productividad aparentemente se ralentizaba. La confusión creada por la percepción equivocada de que la producción de alimentos era un problema resuelto, junto a la aparición de nuevos problemas ambientales que hasta entonces no se asociaban directamente a la agricultura, hizo que se tomaran muchas decisiones erróneas. Una, sorprendente, fue la de disminuir el esfuerzo en investigación agraria, el mejor negocio que ha tenido nunca el sector público a juzgar por las tasas de rendimiento de las inversiones realizadas. Todos los países casi sin excepción, tomaron el camino de desviar la investigación desde la agronomía y la mejora genética hacia la biología molecular, además de reducir las inversiones totales en investigación agraria. Las enseñanzas universitarias se resintieron y toda el área perdió atractivo a la hora de atraer a nuevos estudiantes e investigadores. Las consecuencias negativas de estas decisiones, se empezarán a ver en un próximo futuro, cuando los que las tomaron ya no pueden responder por ellas.

Una de las percepciones de estas últimas décadas es la de que se va frenando el aumento en los rendimientos de los principales cultivos. Ello podría deducirse por cambios en la pendiente de la evolución de los rendimientos mundiales con el tiempo. Por ejemplo, en el gráfico 2 se ve que, desde 1990, la pendiente de la regresión de los rendimientos del trigo es menor que la media desde 1960. Iguales tendencias decrecientes han sido descritas recientemente por Alston y cols (2009) para la agricultura de los EE.UU., quienes atribuyen dicha tendencia a la disminución de la inversión en investigación agraria y a su desvío, alejándose de los temas directamente relacionados con la productividad agrícola. Sadras y cols (2009), aunque detectan una disminución en las pendientes desde 1990 en la evolución de los rendimientos de arroz, cebada y trigo, cuestionan que sean evidencias ciertas de que se frene el crecimiento y de que nos estemos acercando a los límites del rendimiento. La brecha entre la producción potencial, definida como la que puede obtenerse en un clima determinado sin limitación de agua y nutrientes, y la real es aún muy notable en todos los cultivos, salvo quizás en el arroz. Por ejemplo, la producción

potencial del trigo oscila según clima entre 7 y 13 t/ha, mientras que la media mundial actual apenas llega a las 3 t/ha (gráfico 2). Es evidente que una vez conseguidos los avances más fáciles en productividad, la dificultad para incrementar los rendimientos en situaciones menos óptimas aumenta, por lo que la brecha en los rendimientos se debería ir cerrando más lentamente. Otros cambios importantes que pueden cambiar las tendencias en la productividad incluyen las alteraciones en la política agraria, como las que se han producido en las últimas dos décadas en la Unión Europea, la introducción de rotaciones, o la intensificación en términos de número de cosechas por año (con lo que se reduce el rendimiento por cultivo). Por todas las causas citadas, hay incertidumbre sobre si la tendencia en el crecimiento de la productividad en los principales cultivos se vaya a ir ralentizando a medida que avanza el tiempo y la situación de la agricultura mundial se hace más compleja.

3. LA SITUACIÓN ACTUAL Y EL PAPEL DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

Si algo caracteriza a la situación actual de la agricultura y la alimentación es un mayor dinamismo y una mayor incertidumbre que en épocas muy recientes. El aumento de la demanda de alimentos no se ha interrumpido, permanece idéntico a épocas anteriores, pero con dos nuevos matices; uno es el cambio en la dieta hacia un mayor consumo de proteínas animales, lo cual implica un aumento en la demanda de grano. El otro es la utilización de cultivos con fines no alimentarios, básicamente como cultivos energéticos. Si a eso se añade el continuo incremento de la población, si bien a tasas menores que en épocas anteriores, es evidente que la necesidad de incrementar la producción no va a ser menor en el futuro inmediato que lo que ha sido en épocas anteriores.

¿Cómo se van a conseguir los nuevos aumentos de producción? Descartada la expansión del área cultivada (que apenas lo ha hecho desde 1970, al casi equilibrarse las tasas de roturación de nuevas superficies cultivadas con las que desaparecen debido a la urbanización), la única solución es, de nuevo, la intensificación de la producción agraria. La situación es más compleja que en el pasado porque la sociedad no acepta ya incrementos en la productividad a cualquier precio. Algunos colectivos ni siquiera aceptan trueques (*trade-offs*) que parecerían inevitables. Por ejemplo, los cultivos transgénicos suponen una clara disminución del uso de pesticidas en relación a los cultivos convencionales. La percepción por parte de colectivos ambientalistas de que los cultivos transgénicos son peligrosos para el ambiente, parece que les impide aceptar las ventajas de esta nueva

opción para reducir el uso de pesticidas y así proteger el ambiente. Conviene aclarar que el éxito actual de los cultivos transgénicos se basa en la reducción de costes y su difusión sin precedentes se debe a las ventajas que aportan a los productores. Ninguno de los cultivos transgénicos actuales tiene una mayor productividad que los cultivos convencionales equivalentes, solamente se les ha incorporado resistencia a herbicidas y/o a determinadas plagas. Hay que resaltar que más de la mitad del área de cultivos transgénicos (CT) se dedica a la soja resistente a herbicida, la cual conjuntamente con el maíz y el algodón resistentes a insectos, ocupan más del 95 por ciento del área dedicada a CT. Entre 1996, cuando se comercializó por vez primera la soja transgénica, y 2008, el área dedicada a los CT ha llegado hasta los 125 millones de ha, un crecimiento sin precedentes en la historia de la agricultura. Quizás se debería dar crédito a la enorme capacidad del sector privado para difundir técnicas, como la de los CT, que reportan beneficios económicos directos a los agricultores.

A pesar de la expansión espectacular de los CT, no conviene exagerar su potencial, tal y como se hace en algunos foros (p.ej., www.isaaa.org), y debe evitarse el espejismo de creer que la biotecnología pueda generar incrementos en la productividad potencial de los cultivos en el corto plazo. La modificación de la productividad básica de los sistemas fotosintéticos no es por el momento abordable, y mejorar la respuesta al estrés abiótico es mucho más difícil que lo realizado hasta ahora, por la naturaleza multigénica del complejo que modula las respuestas del cultivo al estrés ambiental. Por esta vía, no cabe esperar aumentos drásticos en los rendimientos, como suponían aquellos que lo prometían hace 15 años. No obstante, ya se vislumbra que, a largo plazo, se abren nuevas posibilidades en la mejora genética vegetal difíciles de imaginar ahora y que pueden ofrecer oportunidades para mejorar los rendimientos en el futuro.

4. ANTE LOS RETOS DEL FUTURO

La necesidad de que los nuevos esfuerzos en intensificación lleven a una agricultura más sostenible va a requerir planteamientos diferentes a épocas anteriores. Será necesario prestar mayor atención a todos los efectos de las prácticas agrícolas, en particular a los que afectan negativamente al ambiente (Conway, 1998). Lo que es indudable es que la producción deberá aumentar significativamente porque las tendencias en los cambios en la dieta de los países en desarrollo, junto con el crecimiento de la población, van a requerir una mayor producción de cereales. Otras tendencias de la sociedad como el uso de cultivos energéticos (actualmente frenados pero que una

subida en el precio del petróleo puede disparar de nuevo) o la demanda de productos de la agricultura ecológica también van a afectar al funcionamiento de los sistemas agroalimentarios. Fresco (2009) define seis rasgos que considera deben incorporar los sistemas agroalimentarios sostenibles. Entre ellos, la necesidad de un uso muy eficiente de los recursos será esencial. A medida que se intensifique más la producción, los niveles de uso de los recursos deberán ser más elevados, un requisito demostrado por el trabajo de De Wit (1992). En el caso del uso del agua y agroquímicos, ello conllevará un mayor riesgo de impacto ambiental negativo, riesgo que aumenta exponencialmente a medida que nos acerquemos a la producción potencial. Este hecho obligará al agricultor a moverse hacia un hipotético filo de la navaja, buscando el equilibrio entre la máxima producción posible y el mínimo impacto ambiental. Para alcanzar ese objetivo, la agricultura actual tiene un problema. La tendencia a incrementar el tamaño de las explotaciones en el pasado reciente ha llevado a manejar enormes parcelas como unidades, cuando sus propiedades físicas son muy heterogéneas. La gran variabilidad espacial en las propiedades de los suelos es incompatible con aplicar dosis homogéneas de fertilizantes a una parcela, sin que se puedan producir pérdidas notables en determinadas partes de la misma. Afortunadamente, los avances en las tecnologías de la información y telecomunicaciones y otras han permitido desarrollar nuevas técnicas de agricultura de precisión que van a permitir en el futuro alcanzar ese difícil equilibrio entre alta producción y mínimo impacto ambiental. La difusión de estas técnicas y su adopción por la mayoría de los agricultores será clave para incrementar la eficiencia en el uso de los recursos.

Otra consideración que hace Fresco (2009) sobre la sostenibilidad de los sistemas agroalimentarios es la necesidad de disminuir su vulnerabilidad. Recientemente, el IFPRI (von Braun, 2009) publicó un análisis de los riesgos que corren los sistemas agroalimentarios de los países y sectores más desfavorecidos y concluyó que, desafortunadamente, los riesgos están aumentando. La volatilidad de los precios agrícolas y la crisis económica global son quizás los factores más importantes, seguidos por los efectos de acontecimientos climáticos extremos, como las sequías e inundaciones. El estudio del IFPRI identifica vías por las que dichos sistemas pueden enfrentarse al riesgo y pone el énfasis en poner a disposición de los agricultores en estas zonas nuevas oportunidades para asegurar sus cosechas. La reducción de la vulnerabilidad de los sistemas agroalimentarios va a ser sin duda, una prioridad en el futuro.

Los riesgos a los que se enfrentará la agricultura en el futuro no parece que vayan a disminuir; antes al contrario, en la actualidad tenemos la percepción de que van a aumentar, entre otros motivos, debido al cambio climático (CC). No es lugar aquí para analizar con detalle las evidencias que existen sobre el aumento de la concentración de CO₂ y las posibles consecuencias sobre la temperatura del Planeta. El llamado calentamiento global está llevando a la opinión generalizada de que, por lo que se sabe actualmente, el clima futuro será diferente al actual y no hay actividad humana más dependiente del clima que la agricultura, la cual deberá cambiar para adaptarse al nuevo clima.

¿Cómo afectará el CC a la agricultura y a la alimentación? En primer lugar, conviene partir de la premisa generalmente aceptada de que los climas futuros, siendo diferentes, no mostraran pautas radicalmente distintas de las actuales. La elevación de la temperatura y los cambios en las precipitaciones deben ocurrir de manera gradual y ello permitiría la adaptación de los sistemas agroalimentarios. Por ejemplo, es posible que el clima futuro de Burgos se parezca al actual de Madrid, o el futuro de Paris, al actual de Montpellier. En ese caso, la adaptación de las variedades adecuadas y las técnicas de cultivo al CC parece que podría ser posible sin muchos problemas, ya que es algo que sabemos hacer hoy día. Sin embargo, pueden existir otros rasgos del CC que serían mucho más amenazadores para la agricultura. Me refiero a un cambio estacional en las precipitaciones y sobre todo, a un aumento en la frecuencia de los acontecimientos extremos, como las sequías e inundaciones, a lo que la agricultura es extraordinariamente vulnerable. Lo que hoy día se sabe al respecto, se basa en el uso de modelos de simulación del clima global (GMC) y su extrapolación a modelos de clima regional. De todos es conocido el informe periódico del Panel Internacional del Cambio Climático (IPCC) que sintetiza los esfuerzos en la simulación del CC de numerosos laboratorios de distintos países. La conexión entre CC y el uso de combustibles fósiles para la generación de energía hace que los componentes socio-económico y sobre todo, político del CC incrementen tanto la complejidad del problema, que la toma de posición para cualquier ciudadano es cada vez más difícil.

Los modelos de CC ya han sido utilizados para evaluar los posibles efectos sobre los sistemas agroalimentarios. En general, dichos estudios no han suscitado mucho revuelo mediático, dentro de la atención que se presta al CC. Entre los numerosos estudios (algunos incluidos en el informe del IPCC), uno reciente aborda de forma detallada el impacto en la agricultura del CC y los costes de la adap-

tación al mismo (Nelson y cols., 2009). La conclusión de este informe es que el impacto global del CC sobre la agricultura será negativo y ello amenazará la seguridad alimentaria en el futuro. La lectura detallada del informe sugiere que hay algunos supuestos muy discutibles que afectan directamente a las conclusiones del trabajo. El informe utiliza modelos de simulación de cultivos, para cinco cultivos importantes, en dos escenarios de clima futuro en 2050. Ambos escenarios suponen un aumento de la temperatura y de la precipitación, difiriendo en la magnitud del cambio, pero dentro del rango propuesto por el IPCC. Lo primero a destacar de estos escenarios, es que las diferencias en las predicciones a nivel regional son tan notables (particularmente en las lluvias; gráfico 2 de Nelson y cols., 2009), que siembran serias dudas sobre el nivel de incertidumbre de las simulaciones. Esto no es un hecho aislado, las predicciones de lluvias en todos los modelos regionales son muy variables entre ellos y por lo tanto, inciertas, una palabra que disgusta a algunos sectores de la sociedad. Por ejemplo, las predicciones de los modelos regionales de las precipitaciones ya ocurridas en el período 1961-1990 en Andalucía, son malas.

Es bien sabido que la fotosíntesis aumenta a medida que se incrementa la concentración de CO₂. Se han hecho numerosos experimentos con distintos niveles de este gas, la mayoría en cámaras de crecimiento, pero también ha habido experimentos en condiciones de campo, los llamados FACE (Free air carbon enrichment). Los modelos de simulación han incorporado este efecto positivo en el crecimiento de los cultivos y el trabajo de Nelson y cols. (2009) hace uso de este rasgo, pero, sorprendentemente, simula también una situación hipotética en la que la concentración de CO₂ no afectaría al crecimiento de los cultivos. Las diferencias entre ambas simulaciones son tan notables (Tabla 1; Nelson y cols. 2009) que hacen que los efectos simulados del clima futuro sobre la producción agrícola del Planeta sean positivos o negativos. El consenso de la comunidad científica en la actualidad es que existen efectos positivos por aumento de la concentración del CO₂, los cuales se han cuantificado en una revisión reciente (Leakey y cols., 2009) y que parecen desconocer Nelson y cols. en su trabajo. No es necesario decir que las conclusiones de Nelson y cols. (2009) se basan casi exclusivamente en el caso donde no hay efecto del aumento del CO₂ en la producción agrícola.

Vivimos una época en la que la técnica ha reducido la incertidumbre que rodeaba a la vida del ser humano hasta tal punto que parece que se desea eliminarla por completo. Pero esto no es posible en muchos aspectos, uno de ellos es sobre la predicción de todos los efectos que

tendrá el aumento del CO₂ sobre el Planeta. Específicamente, no es posible aventurar en el momento actual como se combinarán todos esos efectos para influir en la agricultura del futuro. La agricultura es adaptación desde que se inventó, hace más de diez mil años y lo continuará siendo en el futuro. Para ello, dispondremos de nuevos conocimientos y herramientas que deben permitir enfrentar los desafíos del futuro centrados en hacer a los sistemas agroalimentarios más productivos y más sostenibles.

BIBLIOGRAFÍA

- ALSTON, J. M.; BEDDOW, J. y PARDEY, P. G. (2009). *Agricultural research, productivity and food commodity prices*. Univ. of Calif. Giannini Foundation Res. Rep.: 11-15.
- CONWAY, G. (1997). *The Doubly Green Revolution: Food for all in the 21st Century*. Penguin, Londres.
- DE WIT, C. T. (1992). «Resource use efficiency in agriculture». *Agric. Syst.*, 40: 123-131.
- FERERES, E. y GONZÁLEZ-DUGO, V. (2009). «Improving Productivity to Face Water Scarcity in Irrigated Agriculture». In: *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. (Eds. V.O. Sadras and D.F. Calderini): 123-143. Elsevier. Amsterdam.
- FISCHER, R. (2009). «Farming Systems of Australia: Exploiting the Synergy between Genetic Improvement and Agronomy». In: *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. (Eds. V.O. Sadras and D.F. Calderini): 23-54. Elsevier. Amsterdam.
- FRESCO, L. O. (2009). «Challenges for food system adaptation today and tomorrow». *Env. Sci. Pol.*, 12: 378-385.
- LEAKEY, A. D. B.; AINSWORTH, E.; BERNACCI, C.; ROGERS, A.; LONG, S. y ORT. D. R. (2009). «Elevated CO₂ effects on plant carbon, nitrogen and water relations: sis important lessons from FACE». *J. Exp. Bot.*, 60: 2.859-2.876.
- NELSON G. C.; ROSEGRANT, M.; KOO, J.; ROBERTSON, R.; SULSER, T. Y OTROS (2009). *Climate Change: Impact on agriculture and costs of adaptation*. IFPRI, Washington D.C., USA, 32 p.
- SADRAS, V.; CALDERINI, D. Y CONNOR, D. (2009). «Sustainable Agriculture and Crop Physiology». In: *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. (Eds. V.O. Sadras and D.F. Calderini): 1-20. Elsevier. Amsterdam.
- VON BRAUN, J. (2009). *Food security risks must be comprehensively addressed*. Annual Report Essay. Internacional Food Policy Research Institute: 15 p.

RESUMEN

Trayectoria reciente de la agricultura y la alimentación: retos del futuro

El artículo presenta una revisión del «estado de la cuestión» acerca de las posibilidades y límites de la agricultura en su tarea de alimentar a la población mundial. Parte de una síntesis de la trayectoria de la agricultura a lo largo del siglo XX, detallando las pautas de evolución de los rendimientos en distintas agriculturas del planeta y destacando el papel de la investigación agraria. Después reseña las modificaciones de tendencias observadas en las últimas décadas y plantea las posibilidades abiertas en el marco de los nuevos escenarios ambientales (climáticos en particular) y tecnológicos.

PALABRAS CLAVE: historia de la agricultura, tecnología agraria, evolución de los rendimientos de los cereales, cultivos transgénicos, cambio climático.

SUMMARY

Recent trajectory of agriculture and food: future challenges

This article presents a revision of the «state of the art» about the possibilities and limits of agriculture in its function of feeding the world population. It starts from a synthesis of the trajectory of agriculture along the XX Century, detailing the patterns of evolution of the yields of different agricultures of the world and emphasizing the role of the agricultural research. Then, it reports the changes in the trends observed in the last decades and sets out the open possibilities in the frame of the new environmental (particularly climatic) and technological scenarios.

KEYWORDS: History of agriculture, agricultural technology, evolution of cereal yields, genetically modified crops, climatic change.