

Daniel J Miralles

Facultad de Agronomía, UBA

# Estrategias para aumentar la producción de alimentos

Una de las preocupaciones vigentes de gobernantes, técnicos, científicos, desde hace algunas décadas es la creciente demanda de alimentos y de su precio de mercado, en un contexto de incremento sostenido de la población mundial. Uno de los motivos de preocupación radica en que la tasa de incremento de la población no es acompañada por un incremento similar de la producción de alimentos, lo cual genera un desbalance entre demanda y oferta que pone en riesgo la provisión futura de alimentos.

## Crecimiento poblacional y producción de alimentos

Desde mediados del siglo XX el crecimiento de la población humana ha experimentado crecimientos lineales. Las proyecciones para 2050 estiman que será necesario alimentar a una población mundial de casi 10.000 millones personas (figura 1). Esta demanda de alimentos estará aun más amenazada por el reemplazo, al menos parcial, de la matriz energética actualmente basada en energía fósil como petróleo, gas y carbón, por energía obtenida a partir de recursos renovables como los culti-

vos (biocombustibles). En otras palabras, el uso del área agrícola para biocombustibles competirá con el uso para la producción de alimentos.

Por otro lado, el mayor crecimiento de la población se concentrará en los países con menor desarrollo ya que los desarrollados, como los de Europa occidental, estabilizarán mucho más tempranamente su crecimiento poblacional. Esto es importante ya que muchos de los países que experimentarán el mayor crecimiento poblacional, y por ende la mayor demanda alimentaria, no son necesariamente los que producen la mayor cantidad de alimentos. Si bien este artículo no aborda este aspecto, resulta evidente que los escenarios futuros de oferta y demanda de alimentos tendrán importantes implicancias políticas.

En el mundo se cultiva una diversa cantidad de especies vegetales comestibles que producen granos (comúnmente denominados cereales y oleaginosos). Sin embargo, la base de la alimentación humana se sustenta solo en unas pocas especies de cereales que incluyen trigo, arroz y maíz. Más del 60% de la producción mundial de arroz y trigo y el 30% de la de maíz se destina al consumo humano. Por lo tanto, según las proyecciones de crecimiento poblacional de la figura 1, para satisfacer la demanda de alimentos en 2050 deberemos producir aproximadamente el 50% más de estos cereales que en la actualidad.

Una estrategia para incrementar la producción de alimentos es el aumento del área cultivada, si bien su alcance es limitado. Por un lado, buena parte de los suelos potencialmente disponibles no son aptos para la agricultura extensiva. Si bien en algunos lugares de América del Sur el avance de la frontera agrícola ocurre a expensas de selvas y bosques nativos, estos ambientes resultan muy frágiles ante la intervención agrícola, por lo que su conversión en zonas agrícolas no parece ambientalmente sostenible. Por otro lado, la expansión de las áreas urbanas, debido al crecimiento poblacional en ellas, ocurre a expensas de áreas rurales periurbanas, lo cual reduce la superficie cultivable.

Otra estrategia, y que ha sido crecientemente adoptada por los agricultores, es la intensificación agrícola que consiste en aumentar la proporción del tiempo en que una parcela de tierra permanece cultivada. De esta manera se logra una mayor producción por unidad de superficie a lo largo de un ciclo productivo. Esta tecnología involucra un diseño particular de secuencias de cultivos (rotaciones) de modo tal que optimice el apro-

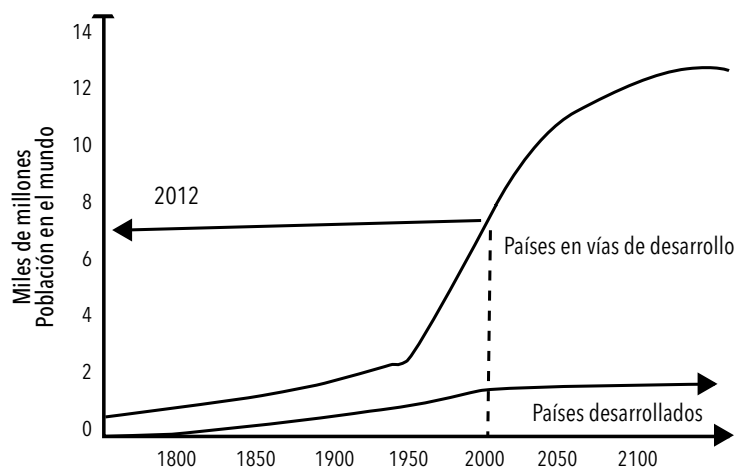
vechamiento del agua, los nutrientes y la radiación solar. La intensificación, no obstante, requiere un equilibrio en la combinación de los cultivos y un manejo técnico particularmente idóneo que asegure la integridad de los recursos naturales involucrados y el rendimiento de los cultivos.

En definitiva, la mayor producción de alimentos requerida probablemente deba sustentarse más en el aumento de los rendimientos en las tierras actualmente cultivadas que en el cultivo de nuevas tierras. Si bien el desarrollo tecnológico orientado a reducir la incidencia de enfermedades y plagas o a aumentar el aprovechamiento de los recursos por parte de los cultivos es un camino posible, aquí trataremos las posibilidades que ofrecen los propios cultivos para modificar aspectos de su fisiología que redunden en mayores rendimientos.

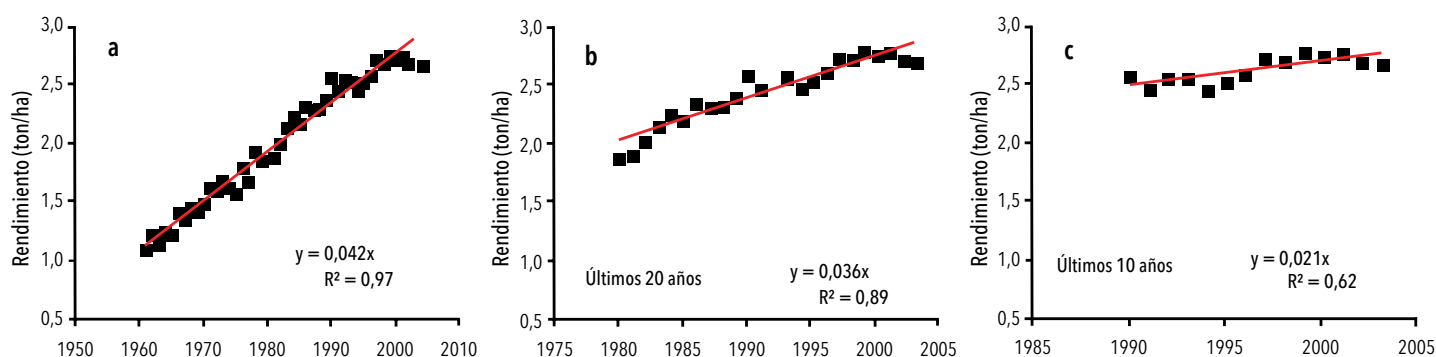
## Dinámicas de la demanda y la oferta de alimentos, ¿velocidades distintas?

La proyección de la demanda de alimento establece cuánto deberemos aumentar el rendimiento de los cultivos para satisfacerla. En el caso del trigo y el arroz, cuya producción actual anual en el mundo entero es de más de 1.000 millones de toneladas, prácticamente la totalidad del grano producido durante los últimos años fue consumido por la población, lo cual evidencia la limitada capacidad de acopio y la dependencia de aumentos en el rendimiento para satisfacer la demanda creciente.

El rendimiento mundial promedio de trigo por unidad de superficie desde los años 60 hasta la actualidad aumentó a una tasa anual de 42kg/ha (figura 2a). Sin embargo, si se consideran los últimos veinte años dicha tasa se redujo a 36kg/ha (figura 2b) y descendió a 21kg/ha en la última década (figura 2c). En términos



**Figura 1.** Crecimiento real y proyecciones de la población en el mundo en países desarrollados y en vías de desarrollo. Fuente: FAO 2009.



**Figura 2.** Rendimiento de trigo en el mundo y detalle de los últimos veinte y diez años. Los parámetros de las funciones corresponden a los ajustes mediante regresiones lineales (modificado de Miralles & Slafer, 2007).

relativos, las actuales tasas de incremento anual del rendimiento de los cereales oscilan entre 0,5 y 0,7%, mientras que las proyecciones basadas en la demanda indican que deberían alcanzarse tasas entre 1,1 y 1,3%. Entonces, el escenario más probable parece ser el de una demanda de alimentos insatisfecha en el futuro cercano, que debería promover el diseño de estrategias para aumentar el rendimiento de los cultivos que sostienen la base alimentaria mundial.

## Estrategias para lograr aumentos en los rendimientos potenciales

El aumento cualitativo de los rendimientos de trigo y arroz registrados durante los años 60, en lo que se conoció como la Revolución Verde, se basó fundamentalmente en la reducción de la altura de las plantas, lograda mediante la introducción de genes de enanismo. Por un lado, la reducción de la altura de las plantas redujo el riesgo de vuelco (caída), por lo que aumentó la eficiencia de la cosecha. Paralelamente, la creación de plantas semienanas (como consecuencia de la reducción de altura) afectó el funcionamiento interno de las plantas de manera que una mayor parte de la energía obtenida mediante la fotosíntesis era redirigida hacia las espigas, que se volvieron más fértiles por la mayor disponibilidad de energía y produjeron más granos cosechables por unidad de superficie.

Si bien este camino fue exitoso en el pasado para lograr incrementos en los rendimientos, la relación entre el rendimiento y la altura de la planta responde a un óptimo, que ronda entre los 70 y 100cm (figura 3). Las plantas de mayor altura, además de ser susceptibles al vuelco, asignan proporcionalmente menos recursos al crecimiento de los granos mientras que las de menor altura, con su mayor asignación de recursos a los granos, no logran compensar las limitaciones impuestas por su porte pequeño.

## Aumentos en la acumulación de biomasa y su asignación hacia las espigas

Desde hace algunos años, científicos de distintos países investigan estrategias que permitan incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, es decir, aquel que se registra cuando el cultivo se desarrolla sin restricciones ambientales. Si bien estas condiciones no son frecuentes en los campos de producción, se ha demostrado que las estrategias de mejoramiento que aumentan los rendimientos potenciales también se traducen en aumentos de los rendimientos reales registrados en esos campos, aun cuando exista una amplia brecha entre ambos.

En el caso del cultivo de trigo, entre las distintas estrategias que se proponen para lograr aumentos en los rendimientos potenciales se encuentran las mejoras en



Pieter Brueghel, 1565. *La siega*. Cosecha de trigo en 1565 en la campiña europea. Nótese la altura de las plantas de trigo y además la proporción del tamaño de las espigas (muy pequeñas) en relación con la longitud de los tallos (muy altos). La cosecha se realizaba a mano y se acondicionaba en parvas para el secado de los granos.

la acumulación de biomasa y otras complementarias que permiten que una mayor fracción de esa biomasa acumulada se distribuya hacia los granos que se cosecharán. La forma en que la planta reparte la energía obtenida durante la fotosíntesis entre los órganos cosechables y el resto se denomina *índice de cosecha*.

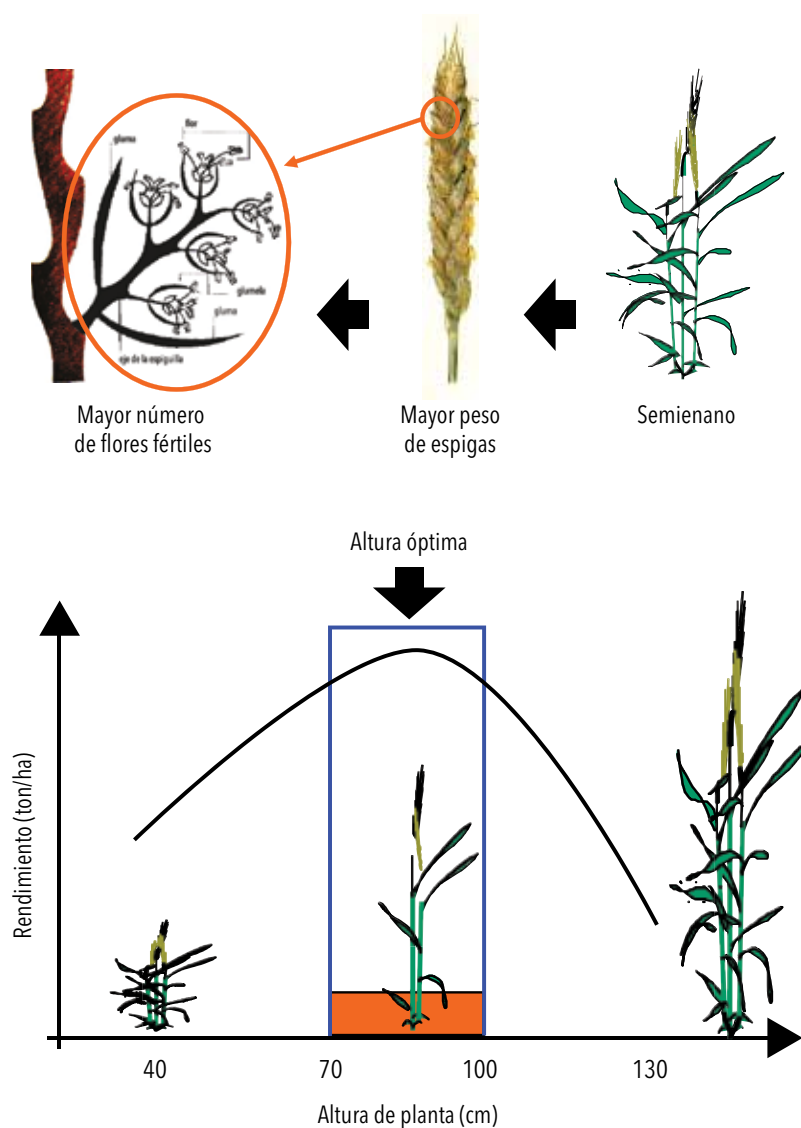
En el primer caso lo que se procura es aumentar la eficiencia de uso de la radiación solar por parte del cultivo. Es decir que se trata de aumentar la cantidad de biomasa que se produce por cada unidad de radiación solar interceptada. Otra vía de mejora consiste en optimizar la distribución del nitrógeno dentro de la planta de modo que las hojas superiores contengan la mayor concentración de nitrógeno, un nutriente imprescindible para la construcción de las enzimas que intervienen en la fotosíntesis. Finalmente, una tercera alternativa consiste en mejorar la capacidad fotosintética de las espigas que contienen los granos durante el período de llenado de estos últimos.

Debido a que la mayoría de los cultivos de trigo en condiciones de campo alcanzan valores que prácticamente interceptan toda la radiación solar que incide sobre ellos (95%), la estrategia de aumentar más aún este aprovechamiento de la luz no despierta grandes expectativas. Sin embargo, lograr una mayor producción de biomasa mediante una mayor eficiencia del proceso de fotosíntesis constituye un gran desafío. Los eventuales aumentos de eficiencia requieren alterar numerosos atributos del cultivo que implican distinto grado de dificultad así como distintas expectativas de tiempo para modificar dichos atributos del cultivo. El aumento de la actividad de la principal enzima que interviene en la transformación del carbono del aire en azúcar (rubisco o ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa) constituye uno de los desafíos más importantes. Una mayor actividad de esta enzima mejoraría la capacidad fotosintética del cultivo y, por lo tanto, su capacidad de producir biomasa, que redundaría

en aumentos de rendimiento. Si bien esta alternativa es una de las que demandará más tiempo de investigación y desarrollo, en la actualidad se estudian los factores que inhiben la actividad de esta enzima a fin de poder bloquearlos, inhibirlos y/o desactivarlos.

Las estrategias tendientes a mejorar el índice de cosecha de las plantas dependen más de aumentar el número de granos producidos que su peso y tamaño individual (figura 3). En el pasado vimos cómo los aumentos en el índice de cosecha estuvieron asociados a la reducción de altura y las limitaciones que este camino ofrecía en el futuro. En la actualidad se investigan estrategias de incorporación de genes de otras especies al genoma del trigo, con el fin de aumentar la supervivencia de las flores. Por ejemplo, la introducción de genes de una especie gramínea (*Agropiro*, *Thinopyrum ponticum*), muy utilizada como alimento para ganado, ha mostrado rendimientos entre 10 y 20% superiores a sus congéneres no modificados genéticamente, debido a una mayor fertilidad de las flores y, en consecuencia, un mayor número de granos por espiga.

Otra estrategia para aumentar el crecimiento y tamaño final de las espigas que albergan los granos consiste en que a lo largo del desarrollo de la planta se prolongue la duración de los estadios reproductivos (crecimiento de las espigas) a costa de los vegetativos (crecimiento de hojas, tallo y raíces). Si bien los resultados experimentales son alentadores, ha resultado difícil transmitir la capacidad para modificar la duración relativa de las distintas etapas de



**Figura 3.** Esquema de la relación entre el rendimiento y la altura de la planta de trigo. Se destaca el rango de alturas en que se logran los rendimientos óptimos y la mayor cantidad de flores fértiles.

la planta de una generación a otra. A su vez, esta capacidad parece variar notablemente frente a cambios en las condiciones ambientales en las que crece el cultivo. Esta estrategia, no obstante, aún sigue siendo explorada a fin de identificar el grupo de genes que interviene en definir la duración de las etapas de desarrollo de las plantas.


## Consideraciones finales

Las proyecciones del crecimiento de la población mundial indican que será necesario aumentar la producción de alimentos para satisfacer una demanda creciente. Como contrapartida, las actuales tasas de mejora del rendimiento de los cultivos más relevantes para la alimentación muestran aumentos inferiores a lo requerido que comprometen la seguridad alimentaria de los próximos treinta años. Esta preocupación ha intensificado la investigación hacia la exploración de estrategias para aumentar el rendimiento potencial de los cultivos por unidad de área debido a las limitaciones para incrementar el área sembrada.

La investigación de las últimas décadas ha demostrado que aumentos en los rendimientos potenciales de los cultivos producen efectos de arrastre en los obtenidos

bajo las condiciones reales de los campos de producción. Por lo tanto, comprender y modificar los factores que incrementan los rendimientos potenciales parece un camino promisorio para lograr mayores rendimientos reales. En este contexto, el trigo y el arroz son las dos especies que reciben la mayor atención ya que conforman la base de la alimentación mundial.

Aquí hemos presentado y discutido algunas estrategias para aumentar la producción por unidad de área, que varían en su factibilidad y tiempo necesario para desarrollarlas y difundirlas entre los agricultores. La biotecnología es una herramienta clave para acelerar los tiempos de dicha eficiencia, si bien requiere un profundo conocimiento de los mecanismos que determinan los aumentos de rendimiento y cómo varían frente a distintos escenarios de producción (climáticos y tecnológicos).

Sin duda, los avances en el futuro para incrementar la eficiencia de producción y los rendimientos manteniendo una adecuada calidad requieren de equipos multidisciplinarios de trabajo. En ellos, biotecnólogos, ecofisiólogos, mejoradores y técnicos deberán trabajar conjuntamente para acelerar la eficiencia y los tiempos de la mejora genética a fin de satisfacer una demanda creciente de alimentos en el futuro cercano. 

### LECTURAS SUGERIDAS

**BRUINSMA J**, 2009, 'The resource outlook to 2050. By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?', *FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, FAO, Roma (<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/background-documents/expert-papers/en/>).

**HALL AJ & RICHARDS RA**, 2013, 'Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops', *Field Crops Research*, 143: 18-33.

**MIRALLES DJ & SLAFER GA**, 2007, 'Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?', *Journal of Agricultural Science*, 145: 139-149.

**REYNOLDS M et al.**, 2009, 'Raising yield Potential in Wheat', *Journal of Experimental Botany*, 60: 1899-1918.

**SLAFER GA et al.**, 2001, 'Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat', *Euphytica*, 119: 191-197.