

# PROGRESO GENÉTICO EN RENDIMIENTO DEL TRIGO HARINERO (*Triticum aestivum* L.) EN CATALUÑA



Foto: A. López Querol

## 01 La evolución de los rendimientos del trigo harinero

El trigo harinero (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo más ampliamente cultivado en cualquier parte del mundo. El 39% (695 millones de hectáreas) de la superficie total cultivada en el planeta (aproximadamente 1.790 millones de hectáreas) fue cultivada con cereales el año 2007, y una tercera parte de esta superficie se dedicó al cultivo de trigo. Se trata por lo tanto del primer cultivo cerealista, con una producción aproximada de 600 millones de toneladas el año 2007. En Cataluña el trigo es el cereal de invierno que presenta unas mayores producciones de grano por unidad de superficie. Por ejemplo, su rendimiento medio el año 2003 fue de 3.275 kg/ha, superando en un 12% el rendimiento de la cebada, en un 56% el del centeno, y en un 60% el de la avena. Hay que atribuir este comportamiento a su superior potencial productivo, pero también al hecho de que se cultiva principalmente en zonas más fértiles que el resto de los cereales de invierno.

Desde comienzos del siglo XX la producción de trigo ha incrementado sustancialmente, pa-

sando de 90 a 600 millones de toneladas en la actualidad. Esto es debido, por una parte, al aumento de superficie dedicada al cultivo (de 90 a 230 millones de ha y, por otra, al incremento en rendimiento (de 900 a 2.600 kg/ha), lo que sugiere que los dos factores han contribuido de forma similar al aumento global en producción. No obstante, el incremento en producción por unidad de superficie se ha hecho mucho más patente a partir del año 1950 momento en que el aumento de superficie dedicada al cultivo se estabiliza (SLAFER y col. 1994). En el caso de Europa, la superficie dedicada al cultivo de trigo ha disminuido alrededor de un 35% en los últimos 30 años, en especial a partir de la década de los 90 (Figura 1). La evolución negativa en España no ha sido tan marcada, aunque el descenso en superficie cultivada ha sido bastante significativo (aprox. un 25%) (Figura 1).

Paralelamente, la evolución de los rendimientos ha sido positiva, tanto en el caso español como europeo, si bien con matices (Figura 2). En Europa, a pesar de producirse un aumento anual entorno a 55 kg/ha, se aprecia en los últimos años cierta tendencia hacia el estancamiento de los incrementos de producción

por unidad de superficie. Este hecho puede deberse a factores diversos: el posible descenso en el cultivo de las mejores tierras junto al descenso de superficie dedicada al trigo, la estabilización del potencial productivo de las nuevas variedades, o incluso al impacto del cambio climático a inicios del presente siglo (caso de la ola de calor de la primavera-verano de 2003, responsable en buena parte de los bajos rendimientos de aquel año).



**En España se observa un incremento anual de los rendimientos del trigo blando próximo a 38 kg/ha; si bien, con una gran variabilidad interanual, debida a la climatología.**

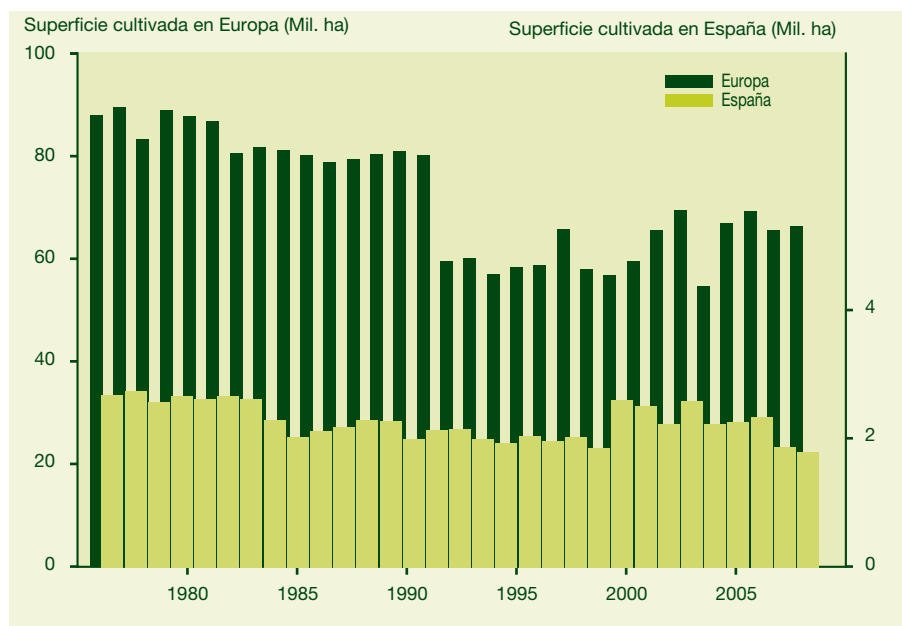


Figura 1. Evolución de la superficie cultivada en Europa y España (Fuente: FAOSTAT, © FAO Statistics Division 2009).

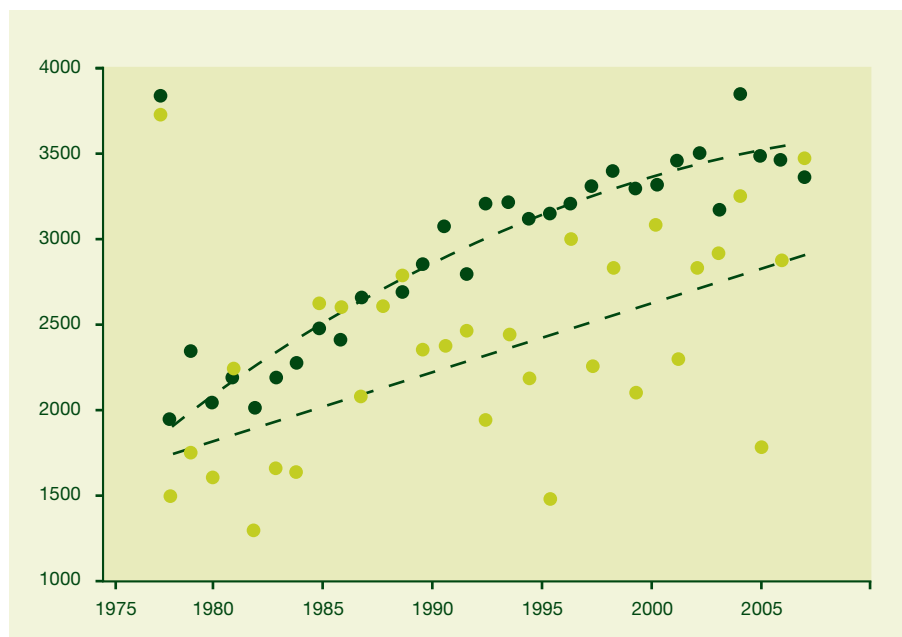


Figura 2. Evolución del rendimiento medio del trigo en Europa y España (Fuente: FAOSTAT, © FAO Statistics Division 2009).

En España se observa un incremento anual de unos 38 kg/ha sin una tendencia clara hacia la estabilización de los rendimientos, si bien las fuertes fluctuaciones climáticas propias del clima mediterráneo propician una acentuada variabilidad interanual de los mismos.

El aumento de los rendimientos ha sido muy probablemente debido tanto a avances atribuibles a la selección genética como a la mejora de las prácticas culturales (control de malas hierbas,

fertilización, riego, entre otros), y también a la interacción de los dos factores. No resulta sencillo separar el efecto de estos factores y, por lo tanto, determinar la contribución de la mejora genética al incremento total de los rendimientos. Este objetivo es muy interesante para conocer las posibilidades reales de avanzar en el aumento productivo del cultivo durante los próximos años. En el ámbito particular de la mejora genética, la contribución más relevante al aumento de los rendimientos del trigo se produjo durante la década

de los 60 del siglo pasado como resultado de la denominada "Revolución Verde", impulsada por el recientemente desaparecido Dr. Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz, año 1970. En particular, la introducción de genes de altura controlada (*Rht*) propició un incremento muy significativo en la asignación de los productos de la fotosíntesis hacia la producción de grano, aumentando el que se conoce como índice de cosecha. El impacto de este evento en el potencial productivo de las variedades de nueva introducción se ha prolongado hasta la actualidad, si bien a un ritmo cada vez más lento, pues el índice de cosecha se encuentra próximo a su límite teórico del 60% (AUSTIN y col. 1980). Resulta, por lo tanto, particularmente interesante caracterizar el impacto del progreso genético en el incremento de los rendimientos durante las últimas tres décadas, es decir, una vez descontado, en buena parte, el efecto de la reducción de altura de la planta sobre el aumento de la productividad del trigo. Los estudios existentes en la materia son relativamente escasos. A modo de ejemplo, CARGNIN y col. (2008) estiman una ganancia genética en Brasil de 48 kg/ha y año desde 1976 a 2005, y UNDERDAHL y col. (2008) cuantifican el progreso genético en Dakota del Norte (EE.UU.) en 30 kg/ha y año desde 1968 a 2006. Esta mejora productiva puede deberse a incrementos del potencial de rendimiento per se de las nuevas variedades. No obstante, otros factores como por ejemplo una mejor adaptación a condiciones de estrés, tanto abióticos (calor, déficit hídrico, ...) como, bióticos (hongos y de otras enfermedades, insectos, entre otros), y también a nuevas prácticas culturales (fertilización y trabajos del suelo), pueden intervenir, en función del estudio, en la magnitud de las estimaciones.

## 02 Los ensayos de evaluación de variedades en Cataluña

Desde el año 1977 varias instituciones del ámbito público han realizado ensayos de evaluación de variedades en las zonas productoras catalanas. Inicialmente, hay que destacar el trabajo realizado por el antiguo Servicio de Extensión Agraria (SEA) del DARP y, también, por la Fundación "la Caixa" en Cataluña y por la Fundación Mas Badía en el litoral de Girona. A partir del año 1995 el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA) tomó el relevo, siendo esta institución la que en la actualidad realiza esta tarea. En la mayor parte de los ensayos se ha tratado por separado las nuevas variedades comerciales en función del ciclo, largo o corto, con el fin de tener en cuenta el uso diferencial que el agricultor aplica tradicionalmente a cada

tipo de material en función del ámbito geográfico y de las características de cultivo.

Este uso diferencial se hace patente al examinar el reparto de superficie cultivada en Cataluña de cada ciclo como función de la zona agroclimática (Figura 3). Se observa como bajo condiciones de secano, y a excepción de la zona del litoral de Girona, se impone mayoritariamente el uso de ciclos largos, mientras que en esta zona y en el regadío de Lleida se utilizan preferentemente ciclos cortos (Tabla 1). El número de ensayos realizados en todo este periodo ha sido elevado: casi 300 repartidos entre los dos tipos de materiales. Aún así, la cifra de ensayos anual no ha sido constante, fluctuando hasta un máximo de 11 para el ciclo largo, y hasta un máximo de 10 para el ciclo corto. Desde hace unos 10 años el número de ensayos anuales se ha estabilizado en cinco para el ciclo largo y tres para el ciclo corto. Los ensayos se han ubicado en localidades pertenecientes a las zonas agroclimáticas más relevantes en cada caso, en concreto Girona Interior, Secanos frescos y Secanos semifrescos para el caso del trigo de ciclo largo, y Girona Litoral y Regadío de Lleida para el trigo de ciclo corto (Tabla 1).

El rendimiento medio de los ensayos ha aumentado significativamente con el paso de los años ( $p < 0,05$ ). En el caso del trigo de ciclo largo, y si consideramos el periodo 1977-2008, el aumento anual ha sido de 46 kg/ha, mientras que, entre 1980 y 2008, el trigo de ciclo corto ha sufrido un incremento más considerable (110 kg/ha) (Figura 6). El rendimiento medio del conjunto de ensayos ha sido similar para los dos ciclos (5.260 kg/ha para el ciclo largo; 6.030 kg/ha para el ciclo corto). Estos incrementos han sido superiores al incremento en rendimiento medio comercial observado tanto para Cataluña (estimado en 35 kg/ha y año) como para el conjunto de España (38 kg/ha y año; Figura 2) en los últimos treinta años y para los dos tipos de trigo considerados conjuntamente. Por otra parte, las producciones medias de los ensayos de evaluación han sido, en los dos casos, superiores a las medias de producción comercial de Cataluña (3.260 kg/ha) para el mismo periodo. Esta diferencia es debida a que los ensayos se han realizado normalmente en parcela pequeña y con un mayor cuidado en las prácticas culturales.

### 03 Variedades evaluadas

A lo largo de una serie de campañas se han evaluado un total de 213 variedades, de las cuales

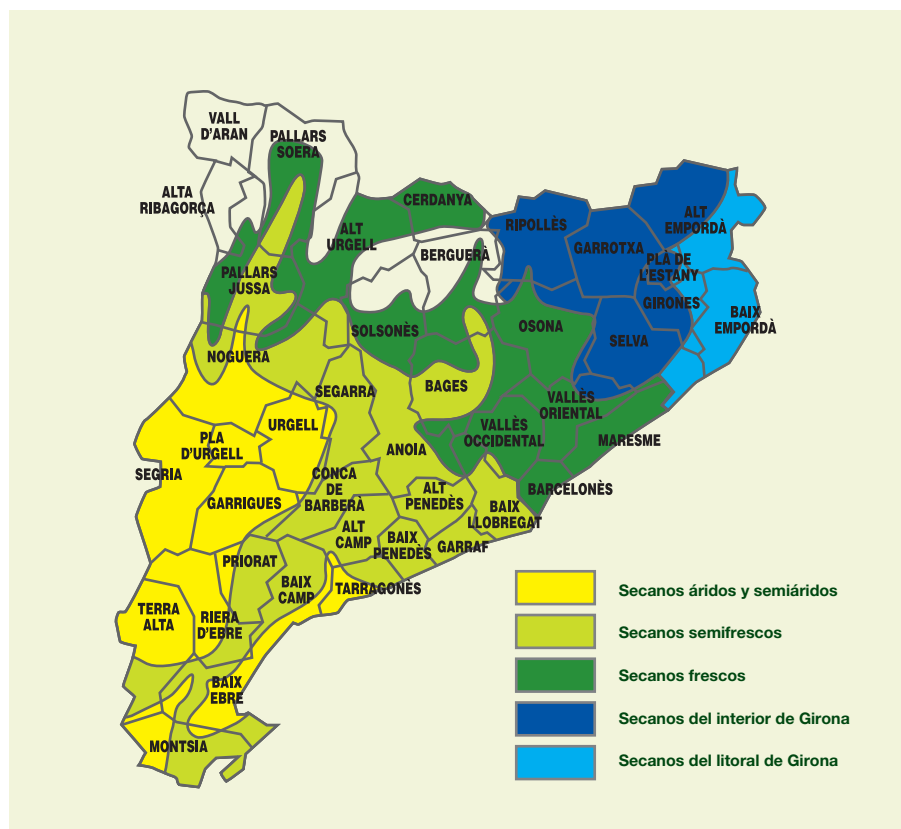


Figura 3. Zonas agroclimáticas de cultivo de trigo harinero en secano en Cataluña.

ZONA AGROCLIMÀTICA	SUPERFICIE (ha)			SUPERFICIE (%)	
	CICLO LARGO	CICLO CORTO	TOTAL	CICLO LARGO	CICLO CORTO
<b>GIRONA LITORAL</b>	1957	7826	9783	20	80
<b>GIRONA INTERIOR</b>	4916	2547	7463	66	34
<b>SECANOS FRESCOS</b>	15355	2248	17604	87	13
<b>SECANOS SEMIFRESCOS</b>	27119	5264	32382	84	16
<b>SECANOS ÀRIDOS Y SEMIÀRIDOS</b>	4069	773	4842	84	16
<b>REGADÍO DE LLEIDA</b>	5775	10731	16506	35	65
<b>TOTAL</b>	59191	29389	88580	67	33

Tabla 1. Superficie de cultivo de trigo harinero en Cataluña (año 2009) en función de la zona agroclimática (Fuente: Elaboración propia).

128 corresponden a ciclo largo y el resto (85) a ciclo corto. En la tabla 2 se puede observar una muestra de las variedades de ciclo largo más representativas evaluadas entre 1977 y 2008. Destacan como variedades más evaluadas MARIUS, con presencia en 135 ensayos, y SOISSONS, con presencia en 95 ensayos. Esto se debe a su uso como testigos de la red durante un buen número de años y hasta la actualidad. También en la Tabla 3 se puede observar una muestra de las variedades de ciclo corto más representativas evaluadas entre 1980 y 2008. Destacan como

variedades más ensayadas ANZA, con presencia en 106 ensayos, y CARTAYA, con presencia en 65 ensayos. De nuevo, esto es debido a su uso como testigos de la red durante un buen puñado de años, aunque en la actualidad los testigos empleados son las variedades GALEON y GAZUL. De esta forma, el análisis anual de los diferentes ensayos ha permitido filtrar el nuevo material comercial, recomendando sólo aquellas variedades que expresan un mayor potencial productivo en las diferentes zonas productoras catalanas.



**Figura 4.** Visita de agricultores en un ensayo de variedades de trigo blando, la campaña 1986-87. Foto: IRTA Mas Badia.



**Figura 5.** Ensayo de variedades de trigo blando de ciclo corto en la Tallada d'Empordà (Girona Litoral), la campaña 2006-07. Foto: IRTA Mas Badia.



**Figura 7.** Variedad de trigo blando de ciclo largo MARIUS. Foto: A. López Querol



**Figura 8.** Variedad de trigo blando de ciclo largo SOISSONS. Foto: A. López Querol



**Figura 9.** Variedad de trigo blando de ciclo corto ANZA. Foto: IRTA Mas Badia.



**Figura 10.** Variedad de trigo blando de ciclo corto CARTAYA. Foto: IRTA Mas Badia.

#### 04 Rendimiento de las variedades

Las variedades ensayadas durante un mínimo de dos años se han comparado estadísticamente de forma conjunta, con independencia de su año de introducción en la red. En concreto se han analizado los ensayos de la serie histórica mediante el análisis de la varianza multiambiente aplicando un modelo mixto de efectos fijos y aleatorios. Como efecto fijo se ha considerado la zona de cultivo o zona agroclimática, y como efectos aleatorios la variedad, su interacción con la zona agroclimática, y el ensayo individual anual en la zona agroclimática. Se ha modelizado la dependencia de comportamientos varietales entre zonas agroclimáticas de acuerdo a PIEPHO y MÖHRING (2005) para mejorar el ajuste del modelo a los datos originales. Se han obtenido las mejores predicciones lineales no sesgadas (BLUPs, "best linear unbiased predictors") del rendimiento medio de cada variedad del ajuste del mencionado modelo aplicado a los trigos de ciclo largo y corto por separado. Mediante la aplicación de esta metodología se han podido comparar directamente variedades ensayadas en años y condiciones diferentes, y obtener la mejor predicción no sesgada de cada variedad con independencia de su año de introducción en la red experimental y del número de ensayos en que ha sido evaluada.

El número de ensayos realizados ha sido de 171 en el caso del trigo de ciclo largo, y 108 para el trigo de ciclo corto. Estos ensayos se reparten entre 32 años (1977-2008) y 45 localidades para el trigo de ciclo largo, y entre 29 años (1980-2008) y 35 localidades para el trigo de ciclo corto. Las localidades más representadas han sido Solsona (Solsonès), con 24 ensayos en el caso del trigo de ciclo largo, y La Tallada d'Empordà (Baix Empordà), con 21 ensayos para el trigo de ciclo corto. En la agrupación de los ensayos de trigo de ciclo largo por zonas agroclimáticas, 49 corresponden al interior de Girona, 56 a los secanos frescos, y 66 a los secanos semifrescos. En la agrupación de los ensayos de trigo de ciclo corto por el mismo concepto, 54 corresponden al Litoral de Girona y también 54 al Regadío de Lleida.

La cuantificación de la varianza asociada al efecto aleatorio "variedad" ha permitido detectar una importante variabilidad de rendimientos entre materiales genéticos, tanto para el caso del trigo de ciclo largo como también para el ciclo corto. Por el contrario, el efecto asociado a un posible comportamiento varietal diferenciado

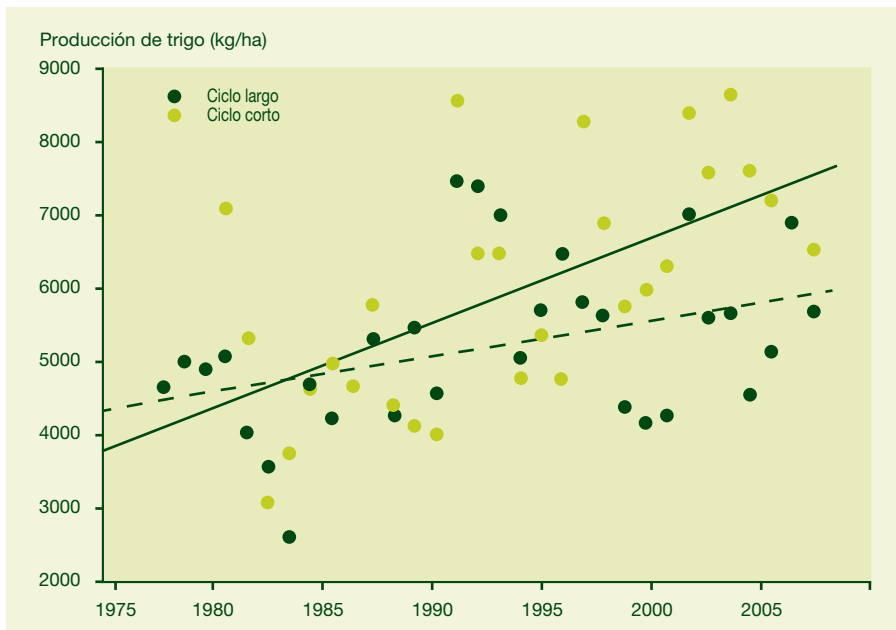


Figura 6. Evolución del rendimiento medio del trigo harinero según ciclo de cultivo en los ensayos de evaluación en Cataluña.

VARIETADES	AÑOS																																			
	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008				
ESTRELLA	x	x	x	x	x	x	x																													
ASTRAL	x	x	x	x	x	x	x	x																												
CAPITOLE	x	x	x	x	x	x	x	x	x																											
TALENTO	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																				
MONTCADA				x	x	x	x	x	x	x	x	x																								
MARIUS				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x			
CARGIFARO							x	x	x	x	x	x	x																							
ARCOLE							x	x	x	x	x	x	x																							
MANERO								x	x	x	x	x	x																							
PISTOU													x	x	x	x	x																			
NOVISAD 7000													x	x	x	x	x	x																		
RECITAL													x	x	x	x	x	x																		
AMIRO														x	x	x	x	x	x																	
GARANT														x	x	x	x	x	x	x																
SOISSONS																	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
SIDERAL																			x	x	x	x	x													
TREMIE																				x	x	x	x	x	x											
ETECHO																					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
ISENGRAIN																								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
BERDUN																									x	x	x	x								
AMAROK																										x	x	x	x	x	x					
CRAKLIN																										x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
PLETHORE																											x	x	x	x	x					
APACHE																											x	x	x	x	x					
TROCADERO																												x	x	x	x	x				
BOKARO																												x	x	x	x	x				
ANDALOU																													x	x	x	x				
BOTTICELLI																														x	x	x				
ANDELÓS																															x	x	x			
PALEDOR																															x	x	x			
AGUILA																																x	x			
GARCIA																																	x	x		
CCB INGENIO																																	x	x		
NOGAL																																			x	x

Tabla 2. Muestra de algunas de las variedades de trigo de ciclo largo que se han evaluado en Cataluña durante un mínimo de 2 años, en ensayos oficiales realizados a partir de 1977, así como los años de ensayo.

VARIETADES	AÑOS																												
	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
MARCA	x	x	x	x	x	x	x	x																					
ANZA	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
MONTCADA	x	x	x	x	x	x	x																						
LACHISH	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																			
ESCUALO			x	x	x	x	x	x	x	x																			
BETRES			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x																
RINCONADA				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x														
CARTAYA				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x							
NOVISAD 7000							x	x	x	x	x																		
SEVILLANO							x	x	x	x	x																		
ALCALA				x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
TRIANA								x	x	x	x																		
ADALID								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x								
DOLLAR								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
TRAPIO												x	x	x	x	x	x												
GAZUL													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
PINZON													x	x	x	x	x												
BONPAIN																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
TORERO																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
GREINA																		x	x	x	x	x	x	x					
BANCAL																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
SARINA																		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
KILOPONDIO																		x	x	x	x	x	x	x					
CALIFA SUR																						x	x	x	x	x	x	x	
GALEON																						x	x	x	x	x	x	x	
ARTUR NICK																							x	x	x	x	x	x	
ODIEL																								x	x	x	x		
SALAMA																												x	x
SENSAS																												x	x

Tabla 3. Muestra de algunas de las variedades de trigo de ciclo corto que se han evaluado en Cataluña durante un mínimo de 2 años, en ensayos oficiales realizados a partir de 1980, así como los años de ensayo.

en función de la zona de cultivo, o interacción “variedad por zona agroclimática”, ha sido poco relevante, esto sugiere una fuerte uniformidad general del comportamiento de cada variedad, independientemente de la zona de cultivo a la cual se destina. Los rendimientos han resultado diferentes ( $p < 0,001$ ) en función de la zona agroclimática: para los trigos de ciclo largo, las producciones más elevadas se han registrado globalmente en los secanos frescos, con una media de 6.235 kg/ha, seguido del Interior de Girona, con 5.765 kg/ha, para finalizar con los secanos semifrescos, con un valor de 4.482 kg/ha. En el caso de los trigos de ciclo corto, globalmente las producciones más elevadas se han registrado en el Regadío de Lleida, con un promedio de 6.570 kg/ha, seguido del Litoral de Girona, con 5.276 kg/ha. Tal y como era previsible, los rendimientos también han sido muy diversos en función del ensayo. Para el trigo de ciclo largo, las producciones medias más bajas se han obtenido en los ensayos de Foradada 2001 (1.167 kg/ha) y Montblanc 1983 (1.411

kg/ha), y las más elevadas en Vic 1991 (10.687 kg/ha) y Vic 2002 (9.573 kg/ha). Con respecto al trigo de ciclo corto, las producciones medias más bajas se han obtenido en los ensayos de Torrebónica 1992 (1.360 kg/ha) y Santa Coloma de Farners 1988 (1.652 kg/ha), y las más elevadas en Palau d'Anglesola 2004 (10.656 kg/ha) y Sidamon 1987 (10.325 kg/ha).

En la Figura 15a pueden observarse los rendimientos relativos de algunas variedades de ciclo largo a partir de las mejores predicciones (BLUPs). Los menores rendimientos corresponden a las variedades más antiguas, concretamente CAPITOLE, MONTCADA Y ASTRAL, por este orden, introducidas en la red a finales de los 70 e inicios de los 80. A finales de los 80 variedades como por ejemplo AMIRO suponen un salto cualitativo importante en rendimiento, que se ve incrementado a mediados de la década de los 90 con los trigos TREMIE, ETECHO y, especialmente, ISENGRAIN. En los últimos años destaca la introducción de variedades como por ejemplo

ANDALOU, BOTICELLI y, más recientemente, PALEDOR y GARCIA. Del mismo modo, en la Figura 15b se presentan las mejores predicciones para algunas de las variedades de ciclo corto más relevantes presentes en la red. Se aprecian tres fases de introducción varietal en función de los rendimientos obtenidos: una primera etapa, hasta mediados de los 80, caracterizada por variedades de bajo rendimiento relativo como por ejemplo ANZA, LACHISH, ESCUALO y RINCONADA; una segunda etapa, hasta mediados de los años 90, cuando hacen aparición variedades de elevado rendimiento (como por ejemplo DOLLAR y ADALID) conjuntamente con otras menos interesantes para nuestras condiciones (caso de los trigos PINZON y SEVILLANO); finalmente, a partir de mediados de los 90 se produce un importante salto cualitativo en la oferta varietal, con material muy productivo a disposición del agricultor como por ejemplo BONPAIN, SARINA y, recientemente, ARTUR NICK, ODIEL Y SENSAS.

## 05 Relevancia del progreso genético en los últimos 30 años

En la Figura 16 se muestra la tendencia de los rendimientos de trigo de ciclo largo, consecuencia del progreso genético, en función del año de introducción de las nuevas variedades en la red y de la zona agroclimática. También se presenta la tendencia para el conjunto de Cataluña, ponderando los valores varietales por zona para la importancia relativa (en superficie) de cada zona en el conjunto de Cataluña de acuerdo a la información de la Tabla 1. En todos los casos se aprecia un incremento atribuible al progreso genético, sin cambios de tendencia o estancamientos relevantes. También se observa que las variedades de nueva introducción no siempre aportan un valor añadido interesante, en términos de rendimiento, al material ya existente en el mercado, probablemente reflejando una adaptación inadecuada a las condiciones de cultivo existentes en Cataluña. Por este motivo los coeficientes de ajuste lineal ( $r^2$ ), aún significativos, no han sido demasiado elevados. Los incrementos sostenidos de rendimiento han oscilado entre los 18 kg/ha y año (para los secanos semifrescos) y los 28 kg/ha y año (para los secanos frescos), aun cuando las ganancias genéticas relativas (es decir, expresados respecto al promedio de rendimiento de los ensayos en cada zona agroclimática) han sido muy similares (entre el 0,37% anual para Girona interior y el 0,44% anual para los secanos frescos). Estos resultados son similares a los observados en



Figura 11. Variedad de trigo blando de ciclo largo ETECHO. Foto: IRTA Mas Badia.



Figura 12. Variedad de trigo blando de ciclo largo ISENGRAIN. Foto: IRTA Mas Badia.



Figura 13. Variedad de trigo blando de ciclo corto RINCONADA. Foto: IRTA Mas Badia.



Figura 14. Variedad de trigo blando de ciclo corto SARINA, los primeros años que se ensayo. Foto: IRTA Mas Badia.

otras zonas del mundo, y sugieren que el avance genético no ha variado sensiblemente en función de las diferentes condiciones agroecológicas que se encuentran en Cataluña para el cultivo del trigo de ciclo largo. No obstante, haría falta matizar esta afirmación, puesto que el menor impacto en producción limpia de la siembra de nuevas variedades en las zonas más desfavorecidas (caso de los secanos semifrescos) probablemente haya favorecido una tasa inferior de sustitución varietal constatada en Cataluña en comparación con zonas más favorables para el cultivo, como es el caso del centro de Europa.

En la Figura 17 se observa igualmente la tendencia de los rendimientos de trigo de ciclo corto en función del año de introducción de las nuevas variedades en la red. En este caso se presentan únicamente los resultados para el conjunto de Cataluña, estimados de la misma forma que en el caso anterior; para las dos zonas agroclimáticas representadas en los ensayos de ciclo corto (Litoral de Girona y Regadío de Lleida) la evolución de los rendimientos ha sido muy similar. Así, se

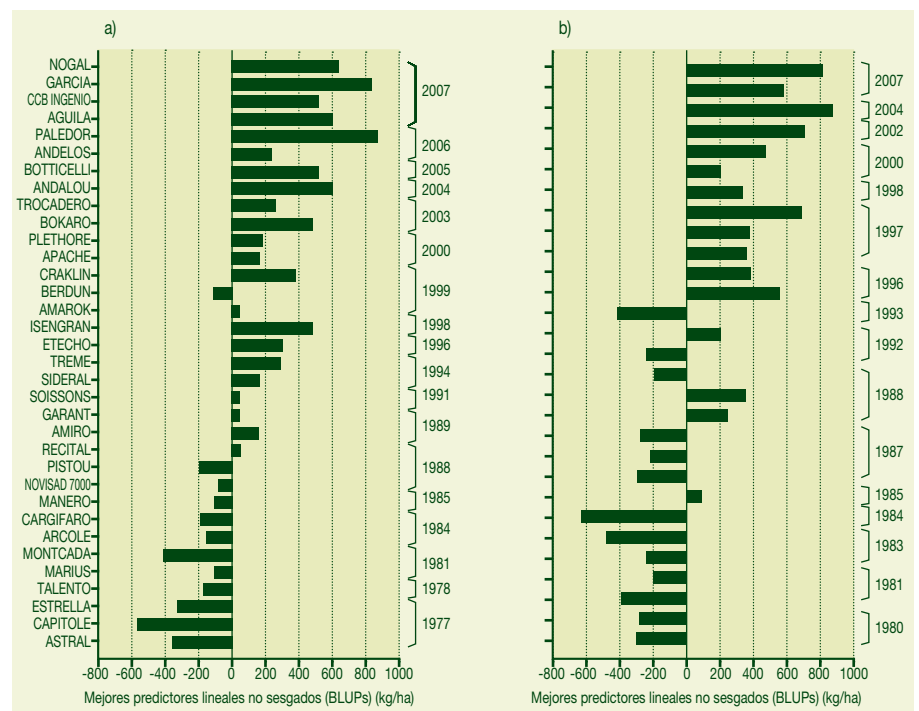
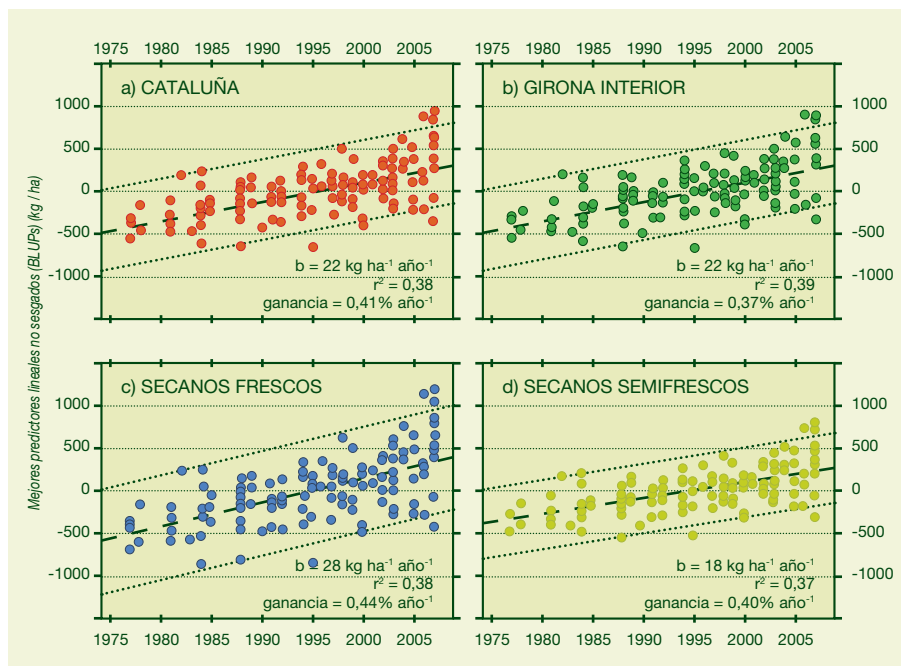
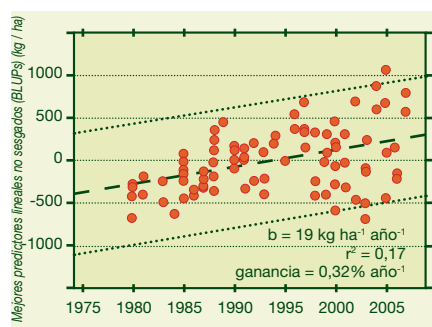


Figura 15. Mejores predictores lineales no sesgados del rendimiento de las variedades de a) trigo de ciclo largo y b) trigo de ciclo corto más representativas, obtenidos a partir de los ensayos realizados en Cataluña entre el año 1977 y en el 2008. Se indica también el año de introducción de cada variedad en la red experimental.



**Figura 16.** Aumento del rendimiento del trigo de ciclo largo entre los años 1977 y 2008 en los ensayos de Cataluña atribuible al progreso genético. a) Conjunto de Cataluña, b) Zona Agroclimática de Girona interior, c) Zona Agroclimática de los secanos frescos, d) Zona Agroclimática de los secanos semifrescos.



**Figura 17.** Aumento del rendimiento del trigo de ciclo corto entre los años 1980 y 2008 atribuible al progreso genético para el conjunto de Cataluña.



La introducción de nuevas variedades explica más del 50 % del aumento de los rendimientos de trigo harinero, que se ha observado en Cataluña, en los últimos 30 años.

aprecia un incremento de magnitud similar, aunque algo inferior, al ya mencionado para el trigo de ciclo largo. Igualmente también se observa que las variedades de nueva introducción a menudo no presentan interés en términos de rendimiento, tendencia esta que se hace más evidente a partir de mediados de los 90. Los incrementos sostenidos de rendimiento han sido prácticamente idénticos entre zonas, variando entre los 19 kg/ha y año (para Girona litoral) y los 20 kg/ha y año (para los regadíos de Lleida). En este caso, las ganancias genéticas relativas han variado entre el 0,30% del litoral de Girona y el 0,36% anual para los regadíos de Lleida, siendo la media en Cataluña del 0,32%. En consecuencia, el avance genético tampoco parece haber variado sensiblemente al comparar las condiciones agroecológicas propias del cultivo del trigo de ciclo corto.

Si consideramos la importancia que cada tipo de trigo presenta en Cataluña en términos de superficie cultivada (Tabla 1) es posible obtener una media ponderada del progreso genético para el trigo harinero durante los últimos 30 años (período 1977-2007), equivalente a 21 kg/ha y año. En este mismo intervalo de tiempo, el aumento que se ha observado en Cataluña en campos comerciales ha estado de 35 kg/ha y año, muy parecido al obtenido por España (38 kg/ha y año), pero en todo caso alejado del valor para el conjunto de Europa (55 kg/año y año) (Figura 2). De esta manera, la introducción de nuevas variedades podría justificar más del 50% del aumento

de los rendimientos que se han observado en los últimos treinta años en Cataluña. El resto se debería de atribuir a otros factores ligados a la mejora de manejo del cultivo.

Se ha comentado con anterioridad como el efecto estadístico asociado a un posible comportamiento varietal diferenciado en función de la zona de cultivo ha sido poco relevante para los dos tipos de trigo, lo que sugiere un comportamiento varietal independiente de la zona de cultivo. Esto queda patente al confrontar gráficamente dos a dos los predictores varietales de cada zona agroclimática (Figura 18). Se observa como, en ningún caso, ninguna variedad se separa de forma relevante de la recta de regresión originada a partir de la relación entre los predictores del rendimiento. Es decir, no existen materiales que presenten evidencia de adaptación específica a ciertas condiciones de cultivo: globalmente, las mejores variedades en el conjunto de Cataluña también han destacado bajo cualquier condición agroecológica particular.

## 06 Consideraciones finales

El presente trabajo ha constatado como la introducción y uso de nuevas variedades de trigo harinero es, hoy en día, un factor bastante relevante para incrementar el potencial productivo del cultivo bajo las condiciones particulares de Cataluña. No se ha apreciado, por el contrario, una tendencia hacia el estancamiento del progreso genético después de la incorporación de los genes de baja altura, empezados a introducir hace más de cuarenta años en los primeros materiales derivados de la Revolución Verde. Otros factores, como por ejemplo una mejora de la disponibilidad de fotoasimilados asociada a un incremento de la producción de biomasa, pueden encontrarse detrás del incremento observado en potencial productivo (REYNOLDS y col. 1999). En cualquier caso, el aumento de rendimiento absoluto en los últimos treinta años atribuible al progreso genético ha sido de más de 600 kg/ha para el trigo de ciclo largo, y más de 500 kg/ha para el trigo de ciclo corto, cifras significativas si tenemos en cuenta los rendimientos comerciales de trigo que actualmente se logran en Cataluña. En este sentido, las redes de evaluación de nuevas variedades han resultado un elemento clave para discernir materiales poco interesantes o inadaptados a las condiciones propias de cultivo de Cataluña y así trasladar al agricultor de forma más efectiva los esfuerzos e hitos de los programas de selección y mejora genética.



## 07 Bibliografía

AUSTIN R.B., BINGHAM J., BLACKWELL R.D., EVANS R.D. FORD L.T., MORGAN M.A., TAYLOR M. (1980) "Genetic improvements in winter wheat yield since 1900 and associated physiological changes" *Journal of Agricultural Science*, 94, págs. 675-689.

CARGNIN A., ALVES DE SOUZA M., FRONZA V. (2008) "Progress in breeding of irrigated wheat for the Cerrado region of Brazil" *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 8, págs. 39-46.

PIEPHO H.P., MÖRING J. (2005) "Best linear unbiased prediction of cultivar effects for subdivided target regiones" *Crop Science*, 45, págs. 1151-1159.

REYNOLDS M.P., RAJARAM S., SAYRE K.D. (1999) "Physiological and genetic changes of irrigated wheat in the post-green revolution period and approaches for meeting projected global demand" *Crop Science*, 39, págs. 1611-1621.

SLAFER G.A., SATORRE E.H., ANDRADE F.H. (1994) "Increases in grain yield in bread wheat from breeding and associated physiological changes" *Genetic Improvement of Field Crops* (G.A. Slafer, editor). Marcel Dekker, Inc. New York, págs. 1-68.

UNDERDAHL J.L., MERGOUM M., RANSON J.K., SCHATZ B.G. (2008) "Agronomic traits improvement and associations in Hard Red Spring Wheat cultivars released in North Dakota from 1968 to 2006" *Crop Science*, 48, págs. 158-166.

## 08 Autores



**Jordi Voltas Velasco**  
Universitat de Lleida.  
jvoltas@pvcf.udl.cat



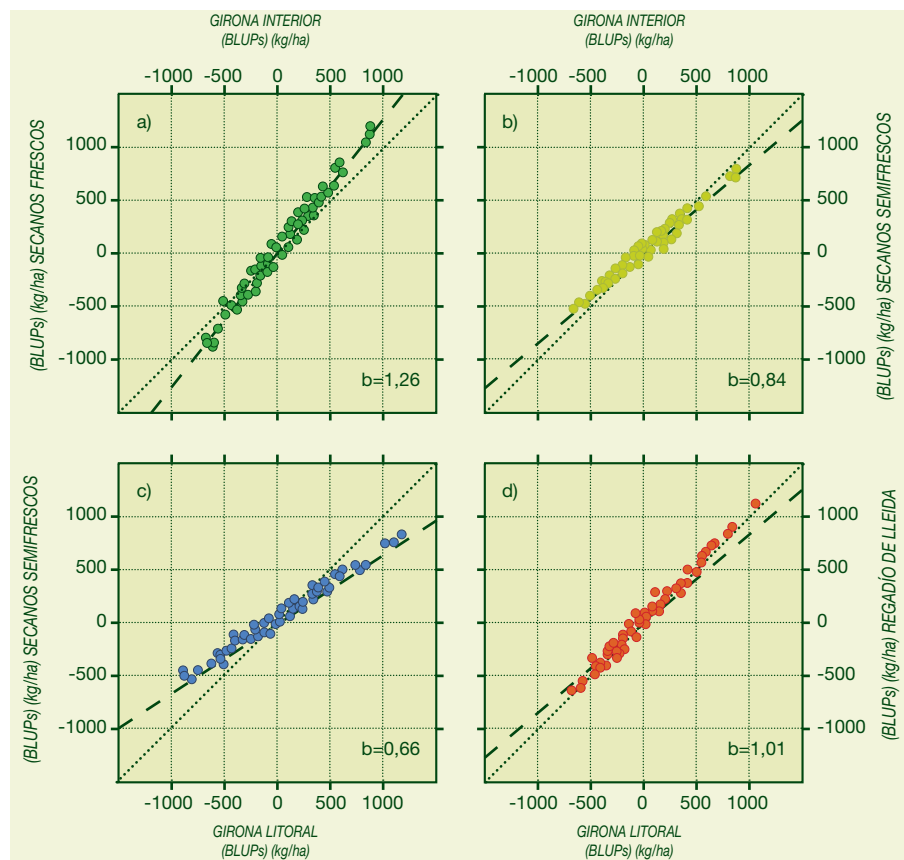
**Joan Serra Gironella**  
IRTA, Mas Badia.  
joan.serra@irta.cat



**Antoni López Querol**  
IRTA, Lleida.  
antoni.lopez@irta.cat



**Gemma Capellades Pericas**  
IRTA Mas Badia.  
gemma.capellades@irta.cat



**Figura 18.** Comparación de los predictores del comportamiento varietal en función de la zona agroclimática. a) Girona Interior versus secanos frescos (ciclo largo), b) Girona Interior versus secanos semifrescos (ciclo largo), c) Secanos frescos versus secanos semifrescos (ciclo largo), y d) Girona Litoral versus Regadió de Lleida (ciclo corto). Se incluye la pendiente (b) de cada recta de regresión, con la recta 1:1 representada con puntos.



Trigo blando. Foto: DAR