





HOJA INFORMATIVA DE LA PLANTA
TRIGO

Triticum



Trigo



Taxonomía

<u>Reino:</u>	<u>Plantae</u>
<u>División:</u>	<u>Magnoliophyta</u>
<u>Clase:</u>	<u>Liliopsida</u>
<u>Orden:</u>	<u>Poales</u>

<u>Familia:</u>	Poaceae
Subfamilia:	Pooideae
Supertribu:	Triticodae
<u>Tribu:</u>	Triticeae
<u>Género:</u>	<i>Triticum</i> L. , 1753

Especies

- [Triticum aestivum](#)
- [Triticum aethiopicum](#)
- [Triticum araraticum](#)
- [Triticum boeoticum](#)
- [Triticum carthlicum](#)
- [Triticum compactum](#)
- [Triticum dicoccoides](#)
- [Triticum dicoccum](#)
- [Triticum durum](#)
- [Triticum ispahanicum](#)
- [Triticum karamyshevii](#)
- [Triticum macha](#)
- [Triticum militinae](#)
- [Triticum monococcum](#)
- [Triticum polonicum](#)
- [Triticum repens](#)
- [Triticum spelta](#)
- [Triticum sphaerococcum](#)
- [Triticum timopheevii](#)
- [Triticum turanicum](#)
- [Triticum turgidum](#)
- [Triticum urartu](#)
- [Triticum vavilovii](#)
- [Triticum zhukovskyi](#)

Referencias: [ITIS 42236](#)

Sinonimia

- *Crithodium* [Link](#)
- *Deina* [Alefeld](#)

- *Frumentum* [Krause](#)
- *Gigachilon* [Seidl](#)
- *Nivieria* [Ser.](#)
- *Spelta* [Wolf](#)¹

[\[editar datos en Wikidata\]](#)

El término **trigo** (*Triticum spp.*)² designa al conjunto de [cereales](#), tanto cultivados como silvestres, que pertenecen al género *Triticum*; se trata de plantas anuales de la familia de las [gramíneas](#), ampliamente cultivadas en todo el mundo.³ La palabra designa tanto a la [planta](#) como a sus [semillas](#) comestibles, tal como ocurre con los nombres de otros cereales.⁴

El trigo es uno de los tres granos más ampliamente producidos globalmente, junto al [maíz](#) y el [arroz](#).⁵ En 2013, la producción mundial fue de 713 millones de toneladas, es decir, ocupó el tercer lugar, después del maíz (1,016 millones) y el [arroz](#) (745 millones)⁶ y el más ampliamente consumido por la población [occidental](#) desde la [antigüedad](#). El grano del trigo es utilizado para hacer [harina](#), [harina integral](#), [sémola](#), [cerveza](#) y una gran variedad de productos alimenticios.⁷ Más del 90% del trigo producido es el denominado trigo harinero, perteneciente a la especie [Triticum aestivum](#).

La palabra «trigo» proviene del vocablo [latino](#) *triticum*, que significa «triturado», de la raíz latina *terere*, «frotar», «desgastar», «triturar». *Triticum* significa, por lo tanto, «lo que se tritura»; tal como el [mijo](#) deriva del latín *milium*, que significa «molido, molturado», o sea, «el grano que es necesario moler para poder ser consumido». El trigo (*triticum*) es, por lo tanto, una de las palabras más ancestrales para denominar a los cereales (las que se referían a su trituración o molturación).



Índice

- [1Historia](#)
 - [1.1Trigo moderno](#)
 - [1.2Controversias](#)
- [2La planta](#)
 - [2.1Morfología](#)
 - [2.1.1Raíz](#)
 - [2.1.2Tallo](#)
 - [2.1.3Hojas](#)
 - [2.1.4Inflorescencia](#)
 - [2.1.5Granos](#)
 - [2.2Genética](#)
 - [2.3Clasificación](#)
- [3Producción mundial](#)
 - [3.1Principales países productores](#)
- [4Comercio mundial](#)
- [5Consumo de trigo](#)
 - [5.1Tueste o resecación](#)
 - [5.2Gachas](#)

- 5.3 Pan ácimo o sin levadura
- 5.4 Pan con levadura
- 5.5 Galletas
- 5.6 Pastas alimenticias
- 5.7 «Carne vegetal»
- 5.8 Cereales listos para consumir
- 5.9 Cerveza
- 6 Enfermedades del trigo
- 7 Tolerancia a la salinidad
- 8 El trigo y la literatura
- 9 Normativa
 - 9.1 España
- 10 Enfermedades relacionadas con el consumo del trigo
- 11 Genoma de referencia del trigo harinero
 - 11.1 Ensamblaje y anotación del genoma
 - 11.1.1 Resultados del ensamblaje y anotación de *IWGSC RefSeq v1.0*
 - 11.2 Aplicación en mejora vegetal
- 12 Véase también
- 13 Referencias
- 14 Bibliografía
 - 14.1 Fuentes de Internet
- 15 Enlaces externos

Historia[[editar](#)]



Variedad de [trigo candéal](#).

El trigo tiene sus orígenes en la antigua [Mesopotamia](#). Las evidencias arqueológicas más antiguas del cultivo de trigo vienen de [Siria](#), [Jordania](#), [Turquía](#), [Palestina](#) e [Irak](#). Hace alrededor de ocho mil años, una [mutación](#) o una [hibridación](#) ocurrió en el trigo silvestre, dando por resultado una planta [tetraploide](#) con semillas más grandes, la cual no podría haberse diseminado con el viento. Existen hallazgos de restos carbonizados de granos de trigo almidonero (*Triticum dicoccoides*)⁸ y huellas de granos en barro cocido en [Jarmo](#) (Irak septentrional), que datan del año 6700 a. C.⁹

El cultivo del trigo por iniciativa de los humanos provocó una auténtica [revolución neolítica agrícola](#) en el denominado [creciente fértil](#). El humano pasó de una alimentación basada en la caza y la recolección a una dieta con un alto contenido en cereales.¹⁰¹¹ Este cambio de la alimentación se ha producido a un ritmo muy rápido en un plazo de tiempo muy corto desde el punto de vista evolutivo, puesto que la humanidad existe desde hace unos 2,5

millones de años.¹⁰¹¹ No obstante, nuestro [genoma](#) y fisiología no se han modificado apenas durante los últimos 10 000 años y nada en absoluto en los últimos 40-100 años.¹²¹³

Simultáneamente, se desarrolló la [domesticación](#) de la [oveja](#) y la [cabra](#), especies salvajes que habitaban la región, lo cual permitió el asentamiento de la población y, con ello, la formación de comunidades humanas más complejas, como lo demuestra también el surgimiento de la escritura, concretamente la [escritura cuneiforme](#), creada por los [sumerios](#), y, por tanto, el principio de la [historia](#) y el fin de la [prehistoria](#). (Véase: [Historia del pan](#)).



Espigas de trigo.

La [agricultura](#) y la [ganadería](#) nacientes exigían un cuidado continuo, lo que generó una conciencia acerca del [tiempo](#) y las [estaciones](#), obligando a estas pequeñas sociedades a guardar provisiones para las épocas menos generosas, teniendo en cuenta los beneficios que brinda el grano de trigo al facilitar su almacenamiento durante temporadas considerables.

La semilla de trigo fue introducida a la civilización del [antiguo Egipto](#) para dar inicio a su cultivo en el valle del [Nilo](#) desde sus primeros periodos y de allí a las civilizaciones [griega](#) y [romana](#). La [diosa griega](#) del pan y de la agricultura se llamaba [Deméter](#), cuyo nombre significa «diosa madre», su equivalente en la [Mitología romana](#) es [Ceres](#), de donde surge la palabra «cereal».

En [Roma](#), el gobierno aseguraba el mantenimiento de los ciudadanos sin posibilidades económicas abasteciendo trigo a un bajo precio y regulando la molienda y fabricación del pan, ya que era una práctica común su racionamiento. La molienda y la cocción eran actividades que se realizaban en forma conjunta, de tal forma que se diseñaban en la [antigua Roma](#) molinos - hornos con una alta capacidad de producción.



Molinos de viento.

El consumo del trigo y de [pan](#) en el [Imperio romano](#) revistió una gran importancia que también se confirma en la [Biblia](#), ya que de acuerdo con las traducciones más exactas es posible contar en su texto 40 veces la palabra «trigo», 264 veces la palabra «pan» y 17 veces la palabra «panes», acepciones estas últimas que pueden referirse a pan de trigo o pan de [cebada](#) (como era común en aquella época), aunque en las citas bíblicas son frecuentemente utilizadas para referirse al concepto más amplio del conjunto de cosas que se requieren para vivir, como en la expresión «ganarse el pan». En la [parábola del sembrador](#) se hace referencia a la adulteración de los [granos](#), comparando el trigo (la bondad) con la [cizaña](#) (la maldad).

El trigo fue introducido en América por los colonizadores españoles. Un esclavo de [Hernán Cortés](#), encontrando tres granos de trigo en una bolsa de arroz, enviado desde España, los conservó bien y los plantó en 1529. De estos, el trigo del Nuevo Mundo se habría derivado.¹⁴

Hasta el siglo XVII no se presentaron grandes avances en los métodos de cultivo y procesamiento del trigo. En casi toda [Europa](#) se cultivó el grano de trigo, aunque en algunas regiones fueron preferidos el [centeno](#) y la [cebada](#) (especialmente en el norte). La invención del [molino de viento](#) generó una nueva fuente de energía, pero por lo demás no variaron los métodos de trabajo utilizados.

A finales del siglo XVIII se presentaron algunos desarrollos mecánicos en el proceso de molinería como aventadores, montacargas y métodos modernos para transmisión de fuerza, con lo cual se aumentó la producción de [harina](#).

En el siglo XIX aparece el molino de vapor con rodillos o cilindros de hierro que representó un cambio radical en la molienda. El cultivo del trigo fue aumentando a la par con estos y muchos otros desarrollos tecnológicos que permitieron mejorar el rendimiento de la planta y llegar a diversas regiones del planeta como [Norteamérica](#) y [Oceanía](#).

A raíz de las dos guerras mundiales se hizo evidente la necesidad de aumentar la producción agrícola, para satisfacer la creciente demanda de alimentos de la

población.¹¹ Las estrategias puestas en práctica para solucionar este problema, que culminaron durante la denominada [revolución verde](#) (segunda mitad del siglo XX),¹⁵¹⁶¹² fueron un éxito en cuanto a la producción pero no dieron suficiente relevancia a la calidad nutricional.¹⁷¹² Las especies fueron seleccionadas para conseguir variedades resistentes a climas extremos y a las plagas, con alto contenido en [gluten](#), cuyas propiedades viscoelásticas y adhesivas únicas son muy demandadas por la industria alimentaria, pues facilitan la preparación de masas, alimentos elaborados y diversos [aditivos](#).¹¹ El proyecto fue un éxito en relación con la producción, con tasas actuales que superan los 700 millones de toneladas por año, pero provocó un cambio drástico en la genética del trigo.¹¹

El mayor productor mundial de trigo fue por muchos años la [Unión Soviética](#), la cual superaba las 100 millones de [toneladas](#) de producción anuales. Actualmente [China](#) representa la mayor producción de este [cereál](#) con unos 96 millones de toneladas (16%), seguida por la [India](#) (12%) y por [Estados Unidos](#) (9%).

Trigo moderno[[editar](#)]



Campo de trigo moderno al lado de una [borda](#) pirenaica ([Isábena](#))

La mayor parte del trigo corresponde a la especie [Triticum aestivum](#), también llamado trigo común o panero; también se cosechan entre 35 y 40 millones de toneladas de [Triticum turgidum](#) o trigo túrgido.¹⁸ Debido a que la mayor parte del trigo se consume bajo la forma de alimentos procesados, han sido sus cualidades para el uso en la industria alimenticia las que guiaron el desarrollo de sus características actuales, razón por la cual se emplean variedades con alto contenido en gluten.¹⁹ Como los animales no somos capaces de sintetizar por nosotros mismos los aminoácidos esenciales, la cualidad nutricional de los alimentos se suele determinar a partir de la presencia de estos aminoácidos. En el trigo se encuentran en cantidades aceptables 9 de los 10 aminoácidos esenciales, sin embargo es comúnmente aceptada su carencia de [lisina](#), siendo esta carencia mayor en la harina blanca; esta falta de lisina va en contraposición a la alta cantidad de [glutamina](#) y [prolina](#), y contrasta con una presencia mayor en otros granos. Al menos desde 1964 hay esfuerzos por lograr variedades altas en lisina, con alta dificultad por efectos [pleiotrópicos](#).¹⁸

Sin embargo, el trigo es también responsable de una importante cantidad de la fibra consumida en la dieta actual; este consumo de fibra ha sido relacionado con una reducción en el riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares, [diabetes tipo 2](#) y algunas formas de cáncer, particularmente el [cáncer de colorrectal](#).¹⁸

El exceso de gluten por su parte ha sido relacionado con una capacidad [inmunogénica](#) y [citotóxica](#) probablemente mayor,¹⁰¹¹ capaz de

atravesar tanto la [barrera intestinal](#) como la [barrera hematoencefálica](#) y acceder al cerebro.¹⁰²⁰²¹²²²³

Controversias[editar]

Diversos estudios [etnológicos](#) y arqueológicos sugieren que coincidiendo con la inclusión de los cereales como componente principal de la dieta, se produjo una serie de consecuencias negativas sobre la salud, entre las que destacarían reducciones de la estatura, disminución de la esperanza de vida, aumento de las enfermedades infecciosas, de la mortalidad infantil, las [enfermedades neurológicas](#) y [psiquiátricas](#) como la [esquizofrenia](#), [anemia ferropénica](#) y trastornos minerales que afectan tanto a los huesos como a los dientes.¹²¹⁰¹³ Sin embargo, otros estudios no han encontrado evidencia concluyente que respalde una relación entre enfermedades mentales y el consumo de gluten.²⁴²⁵

Para quienes sugieren esta relación entre efectos adversos sobre la salud y el gluten, parte de estos efectos negativos habrían sido compensados por la "cantidad" de alimentación (la disponibilidad y conservación son motivos principales del cambio dietario), el progreso de la higiene, el desarrollo de la medicina y la complementación de las dietas basadas en cereales con otras fuentes de nutrientes, consiguiendo una reducción de la mortalidad infantil y una esperanza media de vida más larga. No obstante, la mayor parte de dichas consecuencias negativas continuarían en la actualidad: el cambio de la alimentación basada en la caza y la recolección a las dietas con alto contenido en cereales y el estilo de vida occidental está asociado a la alta incidencia de la obesidad, la [diabetes tipo 2](#), la [ateroesclerosis](#), las enfermedades psiquiátricas, los trastornos neurológicos y otras [enfermedades crónicas](#) o degenerativas.¹²¹⁰¹³

Algunos autores opinan que esta hipótesis de la discordancia evolutiva ha proporcionado un marco teórico valioso, pero se trata de una visión incompleta que no refleja la flexibilidad, la variabilidad y la adaptabilidad en el comportamiento alimentario humano y la salud en el pasado y el presente.²⁶

La planta[editar]

El trigo crece en ambientes con las siguientes características:

- **Clima:** [temperatura](#) mínima de 3 °C y máxima de 30 a 33 °C, siendo una temperatura óptima entre 10 y 25 °C.²⁷
- **Humedad:** requiere una humedad relativa de entre el 40 y el 70 %; desde el espigamiento hasta la cosecha es la época que tiene mayores requerimientos en este aspecto, ya que exige una humedad relativa entre el 50 y el 60 % y un clima seco para su maduración.²⁷
- **Agua:** tiene unos bajos requerimientos de agua, ya que se puede cultivar en zonas donde caen [precipitaciones](#) entre 25 y 2800 mm anuales de agua, aunque un 75 % del trigo crece entre los 375 y 800 mm. La cantidad óptima es de 400-500 mm/ciclo.²⁷
- **Suelo:** los mejores suelos para su crecimiento deben ser sueltos, profundos, fértiles y libres de inundaciones, y deben tener un pH

entre 6.0 y 7.5; en terrenos muy ácidos es difícil lograr un adecuado crecimiento.²⁷

La siembra en [cultivos rotativos](#) de trigo ayuda a mejorar la estructura de estos, y les proporciona mayor aireación, permeabilidad y retención de humedad.

Morfología[\[editar\]](#)



Ilustración morfología de la planta de trigo.

Las partes de la planta de trigo se pueden describir de la siguiente manera:

Raíz[\[editar\]](#)

El trigo posee una [raíz](#) fasciculada o raíz en cabellera, es decir, con numerosas ramificaciones, las cuales alcanzan en su mayoría una profundidad de 25 cm, llegando algunas de ellas hasta un metro de profundidad.²⁸

Tallo[\[editar\]](#)

El [tallo](#) del trigo, de tipo herbáceo, es una caña hueca con 6 nudos que se alargan hacia la parte superior, alcanzando entre 0.5 a 2 metros de [altura](#), es poco ramificado.

Hojas[\[editar\]](#)

Las hojas del trigo tienen una forma linear-lanceolada (alargadas, rectas y terminadas en punta) con vaina, lígula y [aurículas](#) bien definidas.

Inflorescencia[\[editar\]](#)

La [inflorescencia](#) es una espiga compuesta por un raquis (eje escalonado) o tallo central de entrenudos cortos, sobre el cual van dispuestas de 20 a 30 espiguillas en forma alterna y laxa o compacta, llevando cada una nueve flores, la mayoría de las cuales abortan, rodeadas por [glumas](#), glumillas o glumelas, lodículos o glomélulas.⁹

Granos[\[editar\]](#)

Los granos son [cariópsides](#) que presentan forma ovalada con sus extremos redondeados. El [germen](#) sobresale en uno de ellos y en el otro hay un mechón de pelos finos. El resto del grano, denominado [endospermo](#), es un depósito de alimentos para el embrión, que representa el 82 % del peso del grano. A lo largo de la cara [ventral](#) del grano hay una depresión (surco): una invaginación de la [aleurona](#) y todas las cubiertas. En el fondo del surco hay una zona vascular fuertemente [pigmentada](#). El [pericarpio](#) y la [testa](#), juntamente con la capa aleurona, conforman el [salvado](#) de trigo. El grano de trigo contiene una parte de la [proteína](#) que se llama [gluten](#). El gluten facilita la elaboración de [levaduras](#) de alta calidad, que son necesarias en la panificación.

Genética[[editar](#)]

La [genética](#) del trigo es más complicada que la de la mayoría de las otras especies de plantas [domesticadas](#). La especie del trigo es un [poliploide](#) estable, que tiene más de dos conjuntos de siete [cromosomas](#). Tanto el [Triticum durum](#) como el *Triticum turgidum* evolucionaron como especies de tetraploides por el cruce natural de dos especies silvestres, *Triticum urartu* y una especie ahora extinta, *Sitopsis*. El trigo común del pan ([Triticum aestivum](#)) evolucionó como una especie de hexaploide posterior hace aproximadamente 2000 años, después del cruce natural de *Triticum turgidum* y *Aegilops tauschii*.

- El trigo *escaña* cultivada ([Triticum monococcum](#)) es *Diploide* ($2n=2x=14$ cromosomas).²
- Los trigos *Tetraploides* (por ejemplo trigo *durum*) son derivados del *almidonero* silvestre ([Triticum dicoccoides](#)). El *almidonero* silvestre es el resultado de una [hibridación](#) entre dos hierbas silvestres diploides: *Triticum urartu* y una especie de hierba silvestre, *Aegilops searsii* o *Aegilops speltoides*. La hibridación que generó el *almidonero* silvestre ocurrió en tierra virgen, mucho antes de su domesticación.⁷
- Los trigos *Hexaploides* evolucionaron en campos cultivados. Tanto el trigo *dicoccoides* como el *durum* hibridaron con otra hierba diploide silvestre (*Aegilops tauschii*) para crear los trigos hexaploides (cromosomas 6x), [Triticum spelta](#) y [Triticum aestivum](#).

La heterosis o vigor híbrido ocurre en los trigos hexaploides, pero la semilla es difícil de producir en variedades híbridas cultivadas en una escala comercial como con las flores de maíz, porque las flores del trigo son completas y normalmente se auto-polinizan. La semilla híbrida comercial del trigo se ha producido utilizando agentes químicos hibridantes, reguladores del crecimiento de la planta que intervienen selectivamente con el desarrollo de polen, u ocurriendo naturalmente en sistemas masculinos [citoplasmáticos](#) de esterilidad. El trigo híbrido ha tenido un éxito comercial limitado en [Europa](#) (especialmente en [Francia](#)), en los [Estados Unidos](#) y en [Sudáfrica](#).

Clasificación[[editar](#)]

A nivel general, el trigo se clasifica de acuerdo a la textura del [endospermo](#), porque esta característica del grano está relacionada con su forma de

fraccionarse en la [molturación](#),⁷ la cual puede ser vítrea o harinosa, y de acuerdo a la riqueza proteica, porque las propiedades de la harina y su conveniencia para diferentes objetivos están relacionadas con esta característica. De esta manera, se pueden mencionar las variedades de trigo: [aestivum](#) (harinero), *aethiopicum*, *araraticum*, [boeoticum](#) (escaña silvestre), *carthlicum*, [compactum](#) (club), [dicoccoides](#) (escanda), [dicoccum](#) (farr o), [durum](#), *ispahanicum*, *karamyshevii*, *macha*, *militinae*, [monococcum](#) (escaña cultivada), [polonicum](#) (polaco), *repens*, [spelta](#) (espelta), *sphaerococcum*, *timopheevii*, *turanicum*, *turgidum*, *urartu*, *vavilovii* y *zhukovskyi*.

Los trigos *monococcum*, *dicoccum* y *spelta* son vestidos, es decir, la [lemma](#) y [pálea](#) forman una cubierta que permanece unida al grano después de la [trilla](#).

Los trigos más importantes para el comercio son el *Triticum durum* (utilizado principalmente para [pastas](#) y sémola), el *Triticum aestivum* (utilizado para elaborar [pan](#)) y el *Triticum compactum* (se utiliza para hacer [galletas](#)).



Plantación de trigo.

Producción mundial [\[editar\]](#)

A nivel mundial, el mejoramiento de las técnicas de cultivo y la selección genética (por ejemplo la creación de la variedad Norin 10) ha conducido a un incremento considerable de su [rendimiento](#),⁸ pasando de menos de 10 [quintales/ha](#) en 1900 a más de 25 en 1990. El rendimiento del trigo en los países de [América del Sur](#) se mantiene estable con 20 quintales/hectárea, y África y el Cercano Oriente con 10 quintales, Egipto y Arabia Saudita alcanzan en terrenos irrigados de 35 a 40 quintales. En Europa, los rendimientos más altos son obtenidos en cultivos intensivos. El rendimiento medio ha pasado de 30 a 60 quintales/hectárea durante los últimos 30 años, logrando un crecimiento medio de 1 [quintal/ha/año](#).

Así pues, el aumento del rendimiento y de las superficies cultivadas ha llevado a un gran incremento de la producción, la cual alcanzaba 275 millones de [toneladas](#) en 1965 y 628 en 2005. El trigo es igualmente el primer cereal desde el punto de vista comercial (45 % de los intercambios totales en 1998).

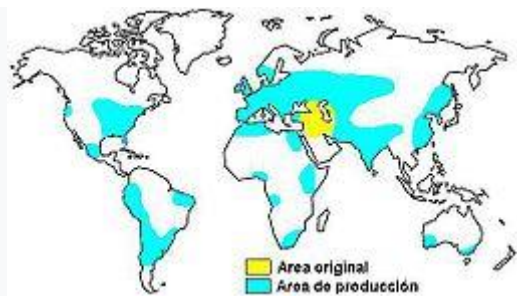
Anualmente se producen 100 kg de trigo por cada habitante en el mundo. Casi toda su producción se destina a la alimentación humana. La producción mundial de trigo desde [1961](#) hasta [2012](#)⁵ fue:

Producción Mundial de Trigo ⁵ (millones de toneladas)															
1961	1971	1981	1991	1996	1997	1998	1999	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2012
222.3	347.5	449.6	546.8	585.4	613.4	593.5	587.7	586.1	590.0	574.4	561.1	629.9	628.1	674.9	

Principales países productores [\[editar\]](#)

El trigo puede crecer en diversidad de [latitudes](#), [climas](#) y [suelos](#), aunque se desarrolla mejor en zonas templadas. Debido a esto, es posible encontrar cosechas de trigo en todos los [continentes](#).

Los principales [países](#) productores de trigo en el [2018](#) fueron:



Cultivo de trigo en el mundo.

País	Producción ⁵
Mundo	735.179.776
China	131.440.500
India	99.700.000
Rusia	72.136.149
Estados Unidos	51.286.540

 Francia	35.798.234
 Canadá	31.769.200
 Pakistán	25.076.149
 Ucrania	24.652.840
 Australia	20.941.134
 Alemania	20.263.500
 Turquía	20.000.000
 Argentina	18.518.045
Total mundial	735.179.776

Y en 2019:

Principales países productores en 2019	
País	millones de toneladas
 China	133.6
 India	103.6
 Rusia	74.5
 Estados Unidos	52.3
 Francia	40.6
Total mundial	766

Source: [UN Food and Agriculture Organization](#)²⁹

Comercio mundial [\[editar\]](#)

Después de la caída del [precio](#) mundial del trigo producida en el año [2010](#) y su rápida recuperación, el precio ha tenido una tendencia a estabilizarse en los

años posteriores oscilando entre los 140 y 150 [dólares estadounidenses](#) por tonelada.

En 2011, las exportaciones de trigo ascendieron a 121.3 millones de toneladas siendo los principales países exportadores [Estados Unidos](#) (20 %), [Australia](#) (12.1 %), [Francia](#) (11.3 %) y [Canadá](#) (10.1 %), seguidos por Rusia y Ucrania.

Por otra parte, 32 países importaron en el 2002 más de 1 millón de toneladas representando un 80 % del total. Los mayores importadores de trigo fueron [Italia](#) (6.5 %), [Brasil](#) (5.5 %), [España](#) (5.3 %), [Argelia](#) (5.0 %), [Japón](#) (4.9 %), seguidos por Egipto, Indonesia, Irán, Corea del Sur, Países Bajos, Bélgica, Marruecos, entre otros.

Consumo de trigo [\[editar\]](#)

Trigo	
Valor nutricional por cada 100 g	
Energía 327 kcal 1368 kJ	
Carbohidratos	71.18 g
• Azúcares	0.41
• Fibra alimentaria	12.2 g
Grasas	1.54 g
Proteínas	12.61 g
Agua	13.1 g
Tiamina (vit. B₁)	0.383 mg (29%)
Riboflavina (vit. B₂)	0.115 mg (8%)
Niacina (vit. B₃)	5.464 mg (36%)

Ácido pantoténico (vit. B₅)	0.954 mg (19%)
Vitamina B₆	0.3 mg (23%)
Ácido fólico (vit. B₉)	38 µg (10%)
Vitamina E	1.01 mg (7%)
Vitamina K	1.9 µg (2%)
Calcio	29 mg (3%)
Hierro	3.19 mg (26%)
Magnesio	126 mg (34%)
Manganeso	3.985 mg (199%)
Fósforo	288 mg (41%)
Potasio	363 mg (8%)
Selenio	70.7 µg (157%)
Sodio	2 mg (0%)
Zinc	2.65 mg (27%)

% [de la cantidad diaria recomendada](#) para adultos.

Fuente: [Base de datos de nutrientes](#) de [USDA](#).

[\[editar datos en Wikidata\]](#)

El trigo generalmente es [molido](#) como harina para su utilización.⁷Un gran porcentaje de la producción total de trigo es utilizada para el consumo humano en la elaboración de pan, galletas, tortas y pastas, otro tanto es destinado

a [alimentación](#) animal y el restante se utiliza en la industria o como simiente ([semilla](#)); también se utiliza para la preparación de [aditivos](#) para la [cerveza](#) y otros [licores](#).

Tueste o resecación[\[editar\]](#)

El grano de trigo puede consumirse con el tueste y tiene un sabor muy agradable, aunque su valor nutritivo se reduce por el efecto del calor.

Este método de tratamiento consiste en retirar la [humedad](#) del grano de trigo proporcionándole calor al fuego sobre piedras, para consumirlo directamente sin elaboración culinaria. También se suele moler el grano para hacerlo polvo seco antes de consumirlo en algunas regiones de [Sudamérica](#). En el [Tíbet](#) se tuesta el trigo antes de molerlo.

Gachas[\[editar\]](#)

Artículo principal: [Gacha](#)

Es una masa muy blanda elaborada a base de [harina](#) de trigo cocida con agua y [sal](#) y aderezada con [leche](#), [miel](#) u otros [aditivos](#). Es un plato consumido desde el [Antiguo Egipto](#), muy tradicional de los pastores y de la civilización [griega](#), quienes lo consumían con aceite.

En [India](#) y [Pakistán](#) es tradicional su elaboración a base de [harina integral](#) y de preferencia con el trigo durum. En [Arabia](#) se elabora una especie de gachas denominadas *fereek* a base de granos de trigo no madurados, los cuales son tostados y macerados con varillas. En [Inglaterra](#) se elaboraba antiguamente un plato llamado *frumenty* a base de granos de trigo entero, que se ponen en remojo y se cuecen en leche. En [África](#) es conocida una especie de gachas llamada *cuzcuz* o *cuscús*, que se elabora preferiblemente a base de sémola de trigo duro; el cuscús fue introducido en la cocina francesa a través de los restaurantes argelinos.

También son muy famosas las [gachas manchegas](#), un plato típico español, aunque su harina, de orígenes pastoriles, era fundamentalmente hecha a base de la molienda de la [almorta](#) o [guija](#), una legumbre del género *latirus* ([Lathyrus sativus](#)), con cierta toxicidad ([latirismo](#)), por lo que actualmente la harina comercial de almorta se mezcla con la de trigo.

Pan ácimo o sin levadura[\[editar\]](#)

Artículo principal: [Pan ácimo](#)

El pan ácimo o pan sin levadura se elabora mezclando harina con agua y formando la masa a la que se le añade sal y se le da forma antes de someterla a temperatura alta. En la antigüedad se utilizaban piedras o cenizas calientes como fuente de calor, pero más tarde se implementó el uso del horno.

Antes de conocer los métodos para fermentar la masa de harina de trigo, era muy popular el consumo de pan ácimo. En [Arabia](#) y el norte de [África](#) aún se elabora pan ácimo siguiendo los mismos procedimientos de hace muchos siglos. Los [judíos](#) elaboran un pan ácimo llamado [matzá](#), el cual se consume para conmemorar la salida de los israelitas de [Egipto](#) durante la celebración conocida como [Pésaj](#). En la [India](#) y [Pakistán](#) se preparan unas tortas integrales ácimas sin levadura llamadas [chapatis](#). Otras variedades de pan ácimo

elaboradas en [Asia](#) son las [paratha](#) y los [puris](#), los cuales llevan algún aderezo especial.

Podría también agregarse en esta categoría un pan típico de Chile, al cual se le llama «tortilla», la cual se hace con harina, agua, sal, y grasa, y usualmente se le cuece en cenizas calientes (rescoldo), o en arena caliente.

En [La Mancha](#) son famosas las tortas ceneceras de pastor, imprescindibles para el [guiso](#) típico de los [gazpachos manchegos](#). En la artesanía popular, se trata de grandes tortas a base de harina, sal y agua dispuestas sobre las mismas brasas y ceniza, con la ventaja de que este pan ácimo no se corrompe fácilmente en el zurrón de los pastores y labriegos durante los trasiegos de las largas estancias al aire libre.

Pan con levadura[\[editar\]](#)

Artículo principal: [Pan \(alimento\)](#)



Variedades de pan.

La mayor evolución en la panificación se dio durante el [antiguo Egipto](#), ya que ellos fueron quienes descubrieron el proceso de [fermentación](#). Estos principios básicos no han cambiado en forma representativa a lo largo de la historia y el avance de los métodos de panadería consiste especialmente en la utilización de medios cada vez más tecnológicos para ella.

El fermento originario consistía en levaduras naturales. Las [levaduras](#) son diversos hongos microscópicos unicelulares que [fermentan](#) los hidratos de carbono en la masa de harina y agua produciendo diversas sustancias. Puede hacerse pan fermentado de cualquier clase de harina, sin embargo, si se quiere que la masa crezca y proporcione un pan poroso y ligero, la harina ha de tener fuerza, lo cual en este caso es equivalente a tener capacidad para absorber el agua, esto depende de un mayor contenido de [gluten](#) y de la naturaleza de sus [proteínas](#). La adición de sal influye en la actividad de las enzimas y en la estructura de la masa.

Algunos panes se elaboran con la adición de diversas sustancias químicas que le brindan a la harina un tratamiento especial. Durante el siglo XVIII se utilizó el [alumbre](#) como aditivo de la harina en diversos países de [Europa](#) como [Inglaterra](#), ya que su uso permite que el pan sea más blanco, tenga un mayor tamaño y presente una textura más blanda, sin embargo fue rechazada por los consumidores por el origen de esta sustancia, lo que produjo su prohibición.³⁰Más recientemente se han utilizado otras sustancias como el [ácido ascórbico](#), el [bromato potásico](#), el [persulfato amónico](#), el [fosfato monocálcico](#), el [dióxido de cloro](#) y el [peróxido de benzoilo](#), los cuales provocan

un envejecimiento artificial a la harina y mejoran las cualidades que convienen para la cocción.

El pan fermentado tiene muchas variedades en diversas regiones del mundo. En el mundo árabe, el pan más corriente es el *Balady*, que es redondo y aplastado y tiene un sabor particular ya que para fermentar la masa de harina de alta extracción se utiliza una porción de la masa anterior. También es muy popular en [Arabia](#) el pan de *Tannour* cuyo aspecto es mucho más delgado, se utiliza harina de alta extracción aunque no es tan importante su contenido de gluten por lo que la harina de trigo suele mezclarse con otros cereales para su preparación.

Actualmente es generalizado en [Norteamérica](#) agregar leche en polvo a la harina para elaborar el pan, la cual influye en el sabor del pan y aporta nutrientes como [lisina](#), [calcio](#) y [riboflavina](#). En otras regiones como [Israel](#) se suele adicionar harina de [soya](#). En algunas partes de [Europa](#) la harina de trigo se mezcla con harina de [centeno](#) para la preparación del pan o bien, se puede utilizar solamente esta última ya que el centeno es un cereal que también contiene gluten (pan de centeno).

Galletas[\[editar\]](#)

Las galletas son elaboradas de masa cocida de harina de trigo con una pequeña cantidad de agua. El trigo utilizado para las galletas es la variedad [Compactum](#) (también conocida como *Club*), el cual es débil debido a que tiene muy poca cantidad de gluten y de proteína y casi siempre es de baja extracción. La mayor producción de este tipo de trigo se da en el [Reino Unido](#), el cual es un importante fabricante de galletas a nivel mundial.

Existen testimonios de que los asirios elaboraban galletas en recipientes de barro y a su alrededor colocaban brasas o piedras calientes. En el [antiguo Egipto](#) se elaboraban unas galletas llamadas *Shayt*, las cuales se encuentran representadas en las pinturas encontradas en la tumba de Rekhmire en [Tebas](#). En [Grecia](#) se elaboraba el *Dipyre* que era un pan que se cocía dos veces y en [Roma](#) la galleta se vuelve un alimento popular de las legiones romanas. Durante la Edad Media es muy común el consumo de galletas como pasabocas y para acompañar licores, en [inglés](#) y [francés](#) se hace común la denominación biscuits que proviene del vocablo latín *bes quis* o bizcocho en español, que significan «cocido dos veces».

Algunas galletas requieren la adición de levadura artificial. También suele añadirse azúcar y algo de mantequilla u otra grasa. Actualmente también se pueden encontrar galletas con cobertura de chocolate, jengibre, vainilla y otros ingredientes.

Pastas alimenticias[\[editar\]](#)

Artículo principal: [Pasta](#)

Las pastas son alimentos elaborados a base de [sémola](#) de trigo mezclada con agua y a la cual se le puede adicionar huevo, sal u otros ingredientes, conformando un producto que se cuece en agua hirviendo. La elaboración de pastas alimenticias a base de trigo es una práctica antigua, que se sigue especialmente en los países donde se cultiva el trigo. Regularmente se utiliza la variedad de trigo [Durum](#) para su elaboración, por lo que es de un alto valor

nutritivo, aunque en lugares como [Italia](#) (en donde el consumo de pasta es el más elevado del mundo) se hacen de harina de trigo duro sola o mezclada con harina candeal dura en proporciones iguales. En [Francia](#), una ley preceptúa que los macarrones y productos similares solo pueden hacerse de [sémola](#) de trigo duro. Entre los demás países de gran consumo por habitante de pastas alimenticias figuran [Uruguay](#), [Argentina](#), [Venezuela](#), [Túnez](#), [Grecia](#), [Suiza](#), [Suecia](#) y [EE.UU.](#).



Pastas alimenticias.

En [Asia](#) la producción de pastas de trigo es una industria rural, a pesar del crecimiento de la producción industrial en gran escala de las pastas alimenticias. Los tallarines y los fideos en [China](#) y los fideos en [India](#) se elaboran con instrumentos sencillos. En [Japón](#) se consume una variedad de pasta, tallarines o noodles, que se elaboran a base de arroz o trigo y adicionando otros ingredientes como: Huevos, algas o el famoso [Kansui](#) es un tipo de agua que contiene altas concentraciones de carbonato de potasio, carbonato de sodio y una ligera cantidad de ácido fosfórico.

En algunos países como [Estados Unidos](#) se han adoptado normas para el enriquecimiento de los macarrones, el espagueti y otras pastas alimenticias. Estos niveles de enriquecimiento suelen ser mayores que los de la harina de trigo debido a que estos deben cocinarse en agua abundante para su preparación y este proceso puede hacerle perder algunos [nutrientes](#)

«Carne vegetal» [\[editar\]](#)

Desde el [Lejano Oriente](#), particularmente desde la [China](#) y el [Japón](#) se ha difundido un alimento de alto valor [proteico](#) basado en el [gluten](#) del trigo, tal alimento por su consistencia, aspecto al ser cocinado y por la mencionada alta cantidad de proteínas es llamado «carne vegetal» o [seitán](#).

Cereales listos para consumir [\[editar\]](#)

La elaboración de productos a base de cereales listos para el [desayuno](#) ha obtenido una creciente importancia en los últimos años. Un gran número de ellos es elaborado a base del [endospermo](#) de trigo, maíz, arroz o avena. A veces el endospermo simplemente se rompe o se prensa y algunas veces se tuesta para dar cereales como harina o avena para ser cocinados antes de consumirlos.³¹

Los cereales denominados «listos para consumir» (*ready to eat*, RTE) han tenido una gran aceptación y popularidad entre los consumidores desde mediados del siglo xx. Para su elaboración se quiebra o muele el endospermo, convirtiéndolo luego en hojuelas mediante la compresión de las partículas entre

rodillos. En el caso del trigo se hace casi siempre de granos enteros de trigo o de harina de alta extracción. Otras veces el grano molido se extruye para darle diferentes formas, o bien se conserva el endospermo intacto para que se le esponje, como en el caso del arroz. El cereal extruido con diversas formas, esponjado o en hojuelas se tuesta en un horno y debe secarse con el fin de adquirir su sabor tostado y su textura crujiente y quebradiza característica. En muchos casos, esto exige que el cereal sea desecado hasta una humedad del 3 a 5 % en su forma final, lista para su consumo.

El desarrollo de estos cereales surge a finales del siglo XIX cuando los médicos William Keith [Kellogg](#) y su hermano John Harvey [Kellogg](#) de la ciudad de Battle Creek ([Estados Unidos](#)), seguidores de las creencias [adventistas](#) de vida sana consistentes en abstención al [alcohol](#), [tabaco](#) y [carne](#), descubren el proceso de temperado en el trigo y posteriormente inventan un método de procesamiento de los cereales que incluye cocido, temperado, laminado y tostado del grano para obtener [hojuelas](#) tostadas, un alimento liviano que contrarrestaba las costumbres de aquella época de alimentos cargados de [grasas](#). Inicialmente los cereales de los hermanos Kellogg solo se producían para la dieta alimenticia de los pacientes del hospital *Battle Creek Sanitarium* y posteriormente comienza a venderse a los consumidores en general en [1906](#), cuando es fundada la compañía *The Battle Creek Toasted Corn Flakes Company* (hoy [The Kellogg Company](#)), cuyo producto era muy reconocido porque el mismo Dr. W. K. Kellogg estampaba su firma en cada una de las cajas en las que se empacaba el producto y porque desde su origen se comenzó a comercializar con la sugerencia de servirlo en [leche](#) para su consumo. Actualmente otras industrias alimenticias como [Quaker](#) y [Nestlé](#) ofrecen variedades de este producto.

Cerveza[\[editar\]](#)

Artículo principal: [Cerveza](#)

La cerveza es una [bebida alcohólica](#) obtenida de granos de cereal fermentados y aromatizados con [lúpulo](#). La elaboración de la [cerveza](#) se inició en forma simultánea a la elaboración del pan. El uso de trigo para la elaboración de esta [bebida](#) es común en muchos países.

La cerveza a base de trigo y [cebada](#) tipo [Weissbier](#) tiene principalmente dos variedades: la *Witbier* en [Bélgica](#) y la *Weizenbier* en [Alemania](#), la cual tiene variantes en diversas regiones del país.

La cerveza de trigo tipo [Lambic](#) se elabora en Bélgica empleando [levaduras](#) silvestres obtenidas por fermentación espontánea.

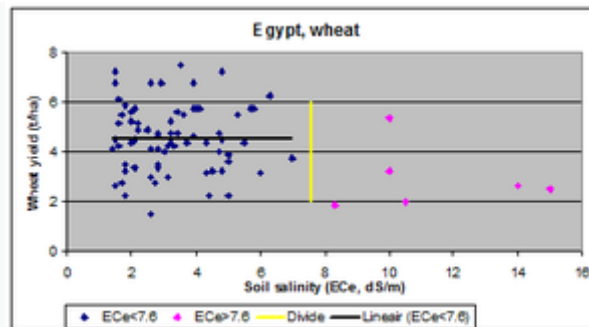
Enfermedades del trigo[\[editar\]](#)

El trigo es susceptible a más [enfermedades](#) que cualquiera de los demás granos,³² y, en las estaciones [húmedas](#) las pérdidas más grandes se producen debido a la patología de otros cereales que afecta a la planta de trigo.

La planta de trigo puede ser afectada principalmente por enfermedades provenientes de [bacterias](#), [hongos](#), [parásitos](#) o por [virus](#).³³ El trigo además puede sufrir del ataque de [insectos](#) en la [raíz](#); también puede sufrir del ataque de [plagas](#) que afectan principalmente la [hoja](#) o la [paja](#) (cascarilla del grano), y

que finalmente privan al grano del alimento suficiente; con mayor gravedad también puede ser afectado por la *Fusariosis*, que es un efecto de la presencia de moho en la espiga, la cual se manifiesta principalmente en la decoloración de la planta y la *Septoriosis*, que es un *hongo* que aparece en las semillas y se extiende a las hojas y el tejido verde de la planta.

En su almacenamiento, el grano de trigo también puede ser atacado por cuatro tipos de plagas: los insectos (principalmente *gorgojos* y *polillas*), los *microorganismos* (principalmente hongos y *bacterias* por efecto de la *temperatura* y la *humedad*), los *roedores* y los *pájaros*, cualquiera de ellos puede contaminar el producto e impedir su consumo.



El cultivo de trigo regado en el Delta del Río Nilo tiene una tolerancia a la *salinidad del suelo* de $EC_e=7.6$ dS/m. A valores más grandes de EC_e el rendimiento se reduce.³⁴

Tolerancia a la salinidad [\[editar\]](#)

En muchas áreas regadas surge el problema de los *suelos salinos*, razón por la cual se hacen esfuerzos de elevar la tolerancia del trigo a la salinidad del suelo (Munns et al.³⁵).

La salinidad del suelo a menudo se mide como la conductividad eléctrica (EC) del extracto de una muestra de suelo saturado de agua (EC_e). Las unidades de EC normalmente se expresan en millimho/cm o en dS/m (deci-Siemens por metro).³⁶

En la figura el valor crítico de $EC_e=7.6$ dS/m muestra que este trigo posee un tolerancia moderada.

El trigo y la literatura [\[editar\]](#)

Desde la antigüedad, el trigo es uno de los cultivos que más aparece en la literatura, en especial, en el mundo occidental. Citemos como ejemplo, un párrafo de la obra *El amor de los amores* de *Ricardo León*, no solo por sus valores literarios sino por la magnífica síntesis que hace de todas las tareas que tradicionalmente tienen que ver con la producción de este cereal:

Yo he visto las yuntas perezosas, labrando la besana y hender la reja el húmedo terruño, y caer, como una lluvia de oro, la simiente; he visto verdear la mies y encorvarse al batir el viento y madurar al sol, caer al filo de las hoces, yacer agavillada en los surcos, bambolearse en los carros gemidores y desbordarse en las eras, crujir bajo los *trillos*, molerse en la aceña, tostarse en el horno, convertirse en blanquísimas hogazas...

León, Ricardo (1910) *El amor de los amores*. Madrid: Editorial Renacimiento, p.59

Según José Echegaray, en el siglo XIX el trigo en España tenía una cantidad de variedades y nombres comunes tales como «Trigo Alonso, Mocho, Alonso y semental, Marrueco, Andaluz, Moñino, Alaga, Mezcladizo, Asaró, Morcajo, Arcinegro, Marroquí, Arroz, Mayor, Azul, Mallorquín de Seiches, Azulejo, Azul o negro, de Monte, Bascuñana, Marzal, Blanco, Mahoma, Blanco mocho, Mocho inglés, Blanco común, Morillo, Blanquillo, Moruno, Blanco cañívano, Macho, Blanquillo rojo, Marcerero, Blat fidené, Macolo, Barbilla, Negro, Blancal, Negrillo, Barrado, Negro azulado, Boroñón, de Niza, Baltornón, de Nam, Blanco de Flandes, de Oxford, Brujo mocho, Pelado, Candeal, Platilla, Candeal abarbillado, Peladillo, Cañívano, Piche, Castro, Piel de buey, Chamorro, Pardon de Verneses, Claro, Portugués», entre otros muchos.³⁷

Normativa [editar](#)

España [editar](#)

En España, está regulado por el *Real decreto 1615/2010*, de 7 de diciembre, por el que se aprueba la norma de calidad del trigo³⁸ y la orden del 31 de enero de 1977 por la que se establecen los métodos oficiales de análisis de aceites y grasas, cereales y derivados, productos lácteos y productos derivados de la uva.³⁹

Enfermedades relacionadas con el consumo del trigo [editar](#)

Las principales enfermedades relacionadas con el consumo de trigo se denominan actualmente «[trastornos relacionados con el gluten](#)». Se desaconseja utilizar el término «intolerancia al gluten», por su falta de precisión. Se reconocen tres formas principales de los trastornos relacionados con el gluten:⁴⁰⁴¹

1. la [alergia](#) al trigo, que es el trastorno menos frecuente;
2. la forma [autoinmune](#) (que incluye la [enfermedad celíaca](#), la [dermatitis herpetiforme](#) y la [ataxia](#) por gluten); y
3. la [sensibilidad al gluten no celíaca](#), actualmente el trastorno más frecuente relacionado con el consumo de gluten.

Aunque el trigo no es la única fuente de [gluten](#) es, con mucho, la principal de ellas. Otros cereales, por su proximidad [taxonómica](#), contienen péptidos homólogos, que también resultan tóxicos para las personas con predisposición genética: [cebada](#) (hordeínas), [centeno](#) (secalinas) y [avena](#) (aveninas), y cualquiera de sus [variedades](#) e [híbridos](#) ([espelta](#), [escanda](#), [kamut](#), [triticale](#)...).⁴²
[43444546](#)

Aunque la enfermedad celíaca es conocida desde los siglos I y II d. C.,⁴⁷ su conocimiento científico y su tratamiento médico solo se han venido desarrollando durante el siglo XX (especialmente a fines de ese siglo) y el actual.⁴⁸⁴⁷

El trigo y otros cereales relacionados contienen [antinutrientes](#) como el gluten y las [lectinas](#), que pueden causar inflamación crónica y [enfermedades autoinmunes](#) (aquellas en las que el [sistema inmunitario](#) ataca y destruye a los

propios órganos y tejidos corporales). Tanto la [gliadina](#) (un componente del gluten) como la aglutinina del germen de trigo (una lectina) pueden [aumentar la permeabilidad intestinal](#) y activar el sistema inmunitario. Este proceso no se limita a las personas con enfermedad celíaca, sino que se ha demostrado que la gliadina aumenta la permeabilidad intestinal tanto en personas con enfermedad celíaca como en personas no celíacas. El aumento de la permeabilidad intestinal se relaciona con enfermedades autoinmunes, tales como la [diabetes tipo 1](#), la [artritis reumatoide](#) y la [esclerosis múltiple](#), y con enfermedades relacionadas con la inflamación crónica, tales como la [enfermedad inflamatoria intestinal](#), el [asma](#), el [síndrome de fatiga crónica](#) y la [depresión](#), entre otras.⁴⁹

El gluten es capaz de atravesar tanto la [barrera intestinal](#) como la [barrera hematoencefálica](#), tal como se ha demostrado en estudios en roedores¹⁰ y por la presencia de anticuerpos [antitransglutaminasa 6](#) en el cerebro de personas con [ataxia por gluten](#).²⁰ El trigo moderno, que es el más empleado y el que produce un pan de mejor calidad desde el punto de vista funcional, presenta una mayor capacidad [citotóxica](#) e [inmunogénica](#), con un contenido de gluten muy elevado (80-90% del total de las proteínas).⁵⁰¹⁰

[Neurogluten](#) es el término empleado para referirse a los diversos [trastornos neurológicos](#) causados por el consumo de gluten, es decir, aquellos que afectan a algún órgano o tejido del [sistema nervioso](#).²³ Pueden desarrollarse independientemente de la predisposición genética y de la presencia o ausencia de síntomas digestivos o de lesión intestinal, es decir, tanto en [celíacos](#) como en no celíacos.²¹²²

Las primeras descripciones sobre neurogluten se remontan a 1966, siendo la [ataxia por gluten](#) el trastorno mejor conocido y más estudiado.⁵¹ Otros trastornos neurológicos o psiquiátricos que actualmente se están relacionando en algunos casos con el neurogluten incluyen la [neuropatía periférica](#),⁵²⁵³ la [epilepsia](#)⁵⁴⁵⁵⁵⁶⁵⁷⁵⁸⁵⁹ la [esclerosis múltiple](#),⁶⁰⁶¹⁶² la [demencia](#),⁶³⁶⁴ la [esquizofrenia](#),⁵²⁵³⁶⁵⁶⁶ el [autismo](#),⁵²⁵³⁶⁷⁶⁸ la [hiperactividad](#),⁵⁰ el [trastorno obsesivo-compulsivo](#),⁶⁹⁷⁰⁷¹ las [alucinaciones](#) («psicosis por gluten»)⁵²⁷² y la [parálisis cerebral](#).⁷³⁷⁴⁷⁵

Genoma de referencia del trigo harinero[[editar](#)]

El Consorcio Internacional de Secuenciación del Genoma del Trigo (*IWGSC*, por sus siglas en inglés) ha publicado un [genoma de referencia](#) extensamente anotado de la especie *Triticum aestivum* var. Chinese Spring, una variedad del trigo harinero, con información al respecto en su página web y el artículo publicado el 17 de agosto de 2018.⁷⁶⁷⁷ El genoma de referencia, *IWGSC RefSeq v1.0*, ha supuesto la culminación de 13 años de trabajo desde el establecimiento del *IWGSC* en 2005. Este logro ha finalizado la primera fase del proyecto *IWGSC* y el comienzo de la segunda fase, que se centrará en desarrollar nuevos genomas de referencia para las [variedades](#) y [cultivares](#) más relevantes de la misma especie. Estos nuevos avances en el conocimiento de la genética y [genómica](#) del trigo ayudarán a los [mejoradores vegetales](#) (véase [mejora vegetal](#)) a acelerar el desarrollo de nuevas variedades, con el fin de establecer un equilibrio entre la demanda global y el [impacto ambiental](#) asociados al futuro crecimiento de la población mundial.⁷⁷

Ensamblaje y anotación del genoma[editar]

El genoma de referencia *IWGSC RefSeq v1.0* es el resultado de la integración de datos provenientes de estudios previos sobre [secuencias de referencia](#), [mapas físicos](#) de cada cromosoma y un trabajo de [ensamblaje de genoma](#) completo (*WGA*, *Whole Genome Assembly* en inglés); todos ellos realizados por distintos grupos del *IWGSC*.⁷⁶

Los investigadores encontraron dificultades a la hora de ensamblar el genoma debido a varios factores:

1. Genoma poliploide: hay tres subgenomas distintos en una misma célula (llamados subgenomas A, B y D), pero las diferencias no son tan evidentes como para asignar fácilmente secuencias concretas a cada subgenoma.⁷⁷
2. Tamaño del genoma: en su estado triploide ($3n = 21$; hay un solo juego de cromosomas por subgenoma) el genoma tiene un tamaño total de 16 [Gb](#), cinco veces mayor que el genoma humano.⁷⁷
3. Secuencias repetitivas: el 85% del genoma es [ADN repetido en tándem y disperso](#),⁷⁷ lo cual dificulta las labores de [secuenciación](#) y ensamblaje.

Las primeras aproximaciones que se llevaron a cabo para secuenciar y ensamblar el genoma fueron:

1. Estudio de secuencia cromosómica (CSS en inglés, [Chromosome Survey Sequence](#)):⁷⁸ se secuenciaron 124.201 loci génicos, útiles para esclarecer la dinámica evolutiva del genoma con base en episodios de pérdida y ganancia de genes o eventos de [duplicación](#). Sin embargo, el estudio tenía poca cobertura (se ensamblaron 10 Gb) y faltaba anotación de [regulación génica](#).⁷⁷
2. Ensamblajes de genoma completo previos:⁷⁹⁸⁰⁸¹ aportaron cierta continuidad (posición física de secuencias) pero seguían faltos de anotación y elementos intergénicos.

El proyecto final de ensamblaje y anotación del genoma de referencia *IWGSC RefSeq v1.0* se realizó con tecnología [Illumina](#) empleando el software *NRGene deNovoMagic2*.⁷⁷

Resultados del ensamblaje y anotación de *IWGSC RefSeq v1.0*[editar]

Se ensambló un 97% (14.5 Gb) del genoma en forma de *cóntigos* y *supercóntigos* (*scaffolds*). 13.8 Gb estaban conformadas por *supercóntigos* bien orientados (se situaron a lo largo de los 21 cromosomas de manera ordenada) y 481 Mb quedaron sin orientar. Estas últimas bases se agruparon en un cromosoma independiente al que llamaron *unassigned chromosome* (ChrUn).⁷⁷

Respecto a la anotación, se clasificaron los elementos genómicos en dos categorías: *elementos génicos* y *elementos intergénicos*. Los primeros engloban [genes](#) codificadores de [proteínas](#) y [pseudogenes](#), mientras que los

segundos engloban [elementos transponibles](#), [ARN no codificante](#) y [centrómeros](#).⁷⁷

Secuenciaron e identificaron 35.345 genes codificadores de proteínas del subgenoma A, 35.643 del B y 34.212 del D, sin encontrar diferencias significativas en cuestión de número de genes en los tres subgenomas. Sin embargo, aún quedan genes codificadores de proteínas por identificar.⁷⁷ En cuanto al número de pseudogenes, se observó que existen diferencias significativas en el número presente en el subgenoma D.⁷⁷ Esto podría deberse a los 390.000 años, aproximadamente, que evolucionaron de manera independiente los genomas A y B en la especie tetraploide ancestral y el genoma D en la especie diploide ancestral de *T. aestivum*.

Los elementos transponibles más representativos del genoma de *T. aestivum* son [retrotransposones](#) de tipo Gypsy y Copia, encontrándose la misma diferencia significativa entre los subgenomas A/B y D.⁷⁷ Descubrieron 8 nuevas familias de [miARN](#) y posicionaron los centrómeros en cada uno de los 21 cromosomas.⁷⁷

Aplicación en mejora vegetal[\[editar\]](#)

Los autores del trabajo,⁷⁷ llevaron a cabo un experimento orientado a mejora vegetal del trigo, en concreto a [floración](#), [carácter](#) muy a tener en cuenta a la hora de poner a punto un cultivo vegetal. La finalidad del experimento consistió en ejemplificar una de las aplicaciones del genoma de referencia recién ensamblado y anotado.

Se realizó un estudio de [homología](#) de secuencias en el que se encontró un gen (*TaAGL33*) de *T. aestivum* [ortólogo](#) al gen de floración *FLC* (**Flowering Locus C**) de *Arabidopsis thaliana*. Se sabe que este gen de floración actúa como represor de la floración y su expresión depende de la temperatura. A bajas temperaturas, la expresión de FLC disminuye y se promueve la floración de *Arabidopsis thaliana*. Se empleó la tecnología [CRISPR/Cas9](#) para modificar el gen ortólogo y generar una serie de mutantes [knock-out](#) para dicho gen. Se pudo comprobar que en uno de los mutantes el tiempo de floración disminuía significativamente unos pocos días, sin embargo, se concluye que deberían realizarse nuevos experimentos de mejora vegetal teniendo en cuenta otros elementos genómicos; ya que se trata de un estudio preliminar para dar a conocer la importancia que tiene disponer de un genoma de referencia bien anotado.⁷⁷