



GRADO EN ADMINISTRACIÓN Y DIRECCIÓN DE EMPRESAS

TRABAJO FIN DE GRADO MODELADO DEL MERCADO DE TRIGO

Autor: Juan Sebastián de Benito Cháfer

Director: Elena María Díaz Aguiluz

Madrid

Diciembre, 2022

Resumen

El trigo es el primer cereal por superficie cultivada y por volumen comercializado a nivel mundial. Dada su enorme complejidad e importancia económica y cultural, este *commodity* ha sido objeto de múltiples estudios a lo largo de la historia. El fin de este proyecto es crear una descomposición histórica del precio del trigo a través de un modelo Vector Autorregresivo (VAR). A partir de un análisis previo de la naturaleza y comportamiento del cereal, se aíslan los factores que afectan a las variaciones de precio del cereal a nivel global. Desde el lado de la oferta, se estudia el proceso de producción, almacenamiento y transporte; mientras que, desde el lado de la demanda, se centra en los usos del grano. De estos estudios se extraen los indicadores para el modelo, de los cuales se obtienen las funciones impulso-respuesta correspondientes. Finalmente, estas se combinan para obtener la descomposición histórica del trigo empleando los datos desde 1961 hasta el 2020. Pese a que todos los indicadores seleccionados tienen un peso significativo en la variación de precios del grano, son la producción de trigo y el precio de los sustitutos los que mejor resultado obtienen. Por su parte, el precio del petróleo y el de los fertilizantes tienen una importancia menor, aunque constante a lo largo de la muestra. Por último, el área cosechada ha sido muy significativa, pero solo en un periodo concreto del histórico. Se concluye que el modelo, pese a sus limitaciones, es un buen instrumento para explicar la variación de los precios del trigo en los mercados internacionales.

Palabras clave: trigo, precio del trigo, producción de trigo, cereales, commodities, oferta y demanda, modelo VAR, impulso-respuesta, descomposición histórica del precio.

Abstract

Wheat is the first cereal by cultivated area and by volume traded worldwide. Given its enormous complexity and economic and cultural importance, this commodity has been the subject of multiple studies throughout history. The purpose of this project is to create a historical decomposition of the price of wheat through a Vector Autoregressive (VAR) model. From a previous analysis of the nature and behavior of the cereal, the factors that affect the price variations of the cereal at a global level are isolated. From the supply side, the production, storage, and transportation process are studied; while, from the demand side, the focus lays on the uses of the grain. The indicators for the model are extracted from these studies, from which the corresponding impulse-response functions are obtained. Finally, these are combined to obtain the historical breakdown of wheat using data from 1961 to 2020. Even though all the selected indicators have a significant weight in the variation in grain prices, wheat production and the price of substitutes obtain the best results. For their part, the price of oil and fertilizers are less important, although constant throughout the sample. Lastly, the harvested area has been very significant, but only during a specific historical period. It is concluded that the model, despite its limitations, is a good instrument to explain the variation of wheat prices in international markets.

Keywords: wheat, wheat price, wheat production, cereals, commodities, supply and demand, VAR model, impulse-response, historical price breakdown.

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	5
Capítulo 2. El Trigo	7
2.1 Definición.....	7
2.2 Fluctuaciones históricas en los precios.....	9
2.3 Implicaciones ambientales	11
Capítulo 3. Oferta de Trigo	13
3.1 Proceso de producción.....	13
3.1.1 Previo al cultivo	13
3.1.2 Siembra.....	14
3.1.3 Desarrollo	15
3.1.4 Cosecha y almacenamiento	17
3.2 Transporte.....	18
3.3 Otros factores que afectan directamente a la oferta de trigo	19
3.3.1 Remanente de la temporada pasada.....	19
3.3.2 Área sembrada.....	20
3.3.3 Área no cosechada	20
3.4 Factores externos que afectan a la oferta de trigo	21
3.4.1 Precio de los fertilizantes	21
3.4.2 Precio del petróleo	22
3.4.3 Ayudas y planificación gubernamentales	22
3.4.4 Geopolítica	23
3.4.5 Plagas y enfermedades	24
3.4.6 Clima	25
Capítulo 4. Demanda de Trigo	27
4.1 Usos del trigo.....	27
4.1.1 Consumo humano	27
4.1.2 Consumo animal.....	28
4.1.3 Simiente	29
4.1.4 Industrial	31

4.2 Factores externos que afectan a la demanda de trigo	31
4.2.1 Crecimiento poblacional y de renta per cápita	31
4.2.2 Sustitutivos	33
4.2.3 Subsidios del gobierno	33
4.2.4 Valor del dólar americano	34
4.3 Demanda mundial de trigo (de acuerdo con su uso y país)	35
Capítulo 5. Modelado del Mercado de Trigo	38
5.1 Modelado de la oferta	38
5.1.1 Descomposición de la función de oferta	38
5.1.2 Indicadores de la oferta	39
5.2 Modelado de la demanda	44
5.2.1 Descomposición de la función de demanda	44
5.2.2 Indicadores de la demanda	45
5.3 Descomposición histórica del precio del trigo	47
Capítulo 6. Conclusiones	50
6.1 Futuras líneas de investigación	51
Capítulo 7. Referencias	53

Índice de figuras

Figura 1. Precio medio anual del HRW (Banco Mundial, 2022c)	9
Figura 2. Precio medio anual real del HRW y el barril Brent (Banco Mundial, 2022c).....	10
Figura 3. Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Trigo (Universidad Católica de Chile, 2014).....	16
Figura 4. Adopción de cereales GM en Estados Unidos entre 1996 y 2020 (ERS/USDA, 2022c).....	30
Figura 5. Evolución de la producción, rendimiento y tierras de cultivo de 1961 a 2021 (Roser, 2013).....	32
Figura 6. Datos del mercado mundial de trigo (FAO, 2022b).....	36
Figura 7. Consumo de trigo por país (ERS/USDA, 2022b)	36
Figura 8. Respuesta de los precios del trigo a un shock en la producción	40
Figura 9. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el área cosechada	41
Figura 10. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el índice de fertilizantes	42
Figura 11. Respuesta de los precios del trigo a un shock en los precios del petróleo	43
Figura 12. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el índice de sustitutivos.....	47
Figura 13. Descomposición histórica de los precios del trigo.....	48

Índice de tablas

Tabla 2. Resumen de indicadores de la oferta	40
Tabla 3. Resumen de indicadores de la demanda.....	45

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La planta de trigo es uno de los cereales más cultivados, constituyéndose como una de las fuentes principales de nutrientes de la población mundial. Desde su descubrimiento a comienzos del Neolítico, el grano de trigo ha tenido una importancia esencial en el desarrollo de grandes civilizaciones a lo largo de la historia, como la babilónica, la egipcia o la romana. Pese a que los factores que rodean a la producción de trigo han variado mucho a lo largo del tiempo, su importancia sigue siendo de primer nivel. Es por ello por lo que en la actualidad el trigo es el cereal más comercializado a nivel mundial, estimándose el valor de su mercado en miles de millones de dólares.

Debido a su importancia estratégica, el trigo ha sido objeto de estudio en un gran número de ocasiones. Es por ello por lo que existe un gran interés en establecer cuáles son los factores económicos, políticos y ambientales que intervienen en la depreciación o encarecimiento de esta materia prima. De esta forma, el objetivo de este proyecto es definir un modelo empírico para el precio del trigo basándose en datos históricos.

Primero, se realizará un estudio de la materia prima en sí, teniendo en cuenta su relevancia histórica y su repercusión medioambiental. Después, se analizará el mercado por el lado de la oferta, y por el de la demanda. Se explicará el proceso de producción y transporte, los usos que se dan al trigo y los factores externos que le afectan. De esta forma, se pretenden recoger las principales variables que pudieran afectar al precio del trigo en los mercados internacionales.

A continuación, se empleará un modelo de tipo vectorial autorregresivo (VAR), utilizado para el estudio de las series temporales econométricas. Dado que no todas las variables descritas en los apartados anteriores serán idóneas para el modelo, será necesario hacer una selección de estas. Tras la estimación del modelo, se presentarán los resultados de las funciones impulso respuesta que mostrarán cómo responde el precio del trigo a cambios en

las variables del modelo. Finalmente, se realizará una descomposición histórica de las fluctuaciones del trigo según sus causas. Por último, las conclusiones recogerán los resultados obtenidos y cualquier otro dato obtenido durante el desarrollo del proyecto.

Capítulo 2. EL TRIGO

En este capítulo se introducirán los conceptos esenciales sobre el trigo, como su origen, variedades y localización. Además, se hará un análisis sobre sus precios a lo largo de la historia reciente y las implicaciones ambientales que conlleva su producción.

2.1 DEFINICIÓN

“Trigo” es el nombre común por el que se conoce a las especies del género *Triticum*, de la familia de las gramíneas (FAO, 2022b). El nombre de la planta da a su vez nombre al fruto (o grano) de la misma. Junto con el maíz y el arroz, el trigo es uno de los cultivos de cereales más antiguos e importantes, constituyendo en la actualidad la base alimenticia de gran parte de la población mundial.

Se trata de un cereal de secano que se cultiva alrededor de todo el mundo. Esto se debe a que resiste condiciones climáticas relativamente adversas, como temperaturas de hasta 20° bajo cero, una reducida cantidad de agua y elevadas altitudes, entre otras. Pese a que pueda crecer en estas condiciones, las zonas más adecuadas para el cultivo de este cereal se encuentran comprendidas entre los paralelos 30° y 60° en el hemisferio Norte y el 27° y el 40° en el hemisferio Sur. Debido al clima y otros factores relevantes, el rendimiento por hectárea cosechada de trigo es muy variable, pudiendo ir desde las 10 toneladas por hectárea hasta tan solo una (FAO, 2022a).

El hombre conoce el trigo desde tiempos muy remotos. Se sabe que ya era cultivado en el valle del Nilo hacia el año 5000 a.C., en China en el 2500 a.C y en Inglaterra en el 2000 a.C. Las diversas especies y variedades de trigo se debieron de originar a partir de formas silvestres de *Triticum*, mejoradas por cruzamientos y por selección artificial. Actualmente, se considera que el trigo crecía de forma natural en las regiones de Asia Anterior y central, y, según algunos autores, también en la península Balcánica y en el norte de África

(Enciclopedia Salvat, 2003). Pese a tener numerosos usos, el más común es el alimentario, que consiste en la obtención de harina para hacer pastas, galletas, bizcochos, etc. El segundo uso sería como pienso para ganado, comúnmente en forma de forrajes o salvado. Por último, del grano puede obtenerse el almidón y el gluten, que tienen numerosos usos industriales (Bushuk, W., & Rasper, 1994).

Las variedades de trigo se pueden clasificar de múltiples formas (CME Group, 2018):

- Temporada de siembra: invierno o primavera.
- Contenido proteico: duro (alto en proteína) y suave (bajo en proteína).
- Color del grano: rojo o blanco.

La severidad del invierno es, con diferencia, el factor fundamental a la hora de escoger la variedad. Esto se debe a que el trigo de invierno debe pasar los primeros meses de la estación bajo tierra, por lo que, si las temperaturas son muy extremas, la planta no conseguirá sobrevivir o ni si quiera llegará a germinar. El trigo de invierno siempre se siembra en otoño, tiene un ciclo de vida mucho más largo y suele ser más productivo, cosechándose a comienzos del verano. En cambio, el trigo de primavera generalmente se planta en la estación homónima, se cosecha justo después del trigo de invierno y su rendimiento es más pobre.

El trigo se produce en tres grandes regiones: la que se extiende de Ucrania a Siberia, la de América del Norte (el *Wheat Belt* en EE.UU. y las *Prairies* canadienses) y finalmente la de Europa occidental. Adicionalmente, Asia (India, Pakistán y China) y el hemisferio austral (Argentina y Australia) son otros grandes productores de trigo (Igrejas & Branlard, 2020). En la temporada de 2019/20, la producción de trigo ocupó más de 200 millones de hectáreas, de las cuales se obtuvieron aproximadamente 760 millones de toneladas métricas de grano. Por último, merece la pena resaltar que tan solo los cuatro primeros productores de trigo, China, India, Rusia y Estados Unidos, comprenden más del 50% de la producción mundial (ERS/USDA, 2022a).

2.2 FLUCTUACIONES HISTÓRICAS EN LOS PRECIOS

Como cualquier bien de consumo, el trigo varía su precio según la ley de la oferta y la demanda. Es por ello por lo que, a lo largo de la historia, antigua y reciente, esta materia prima ha sufrido grandes cambios en su precio. Para observar este hecho, se muestra a continuación un gráfico con el precio medio anual de una de las variedades de trigo más comunes en el mundo, el trigo rojo de invierno (de ahora en adelante referido como HRW por sus siglas en inglés), desde el año 1960 hasta el 2021.

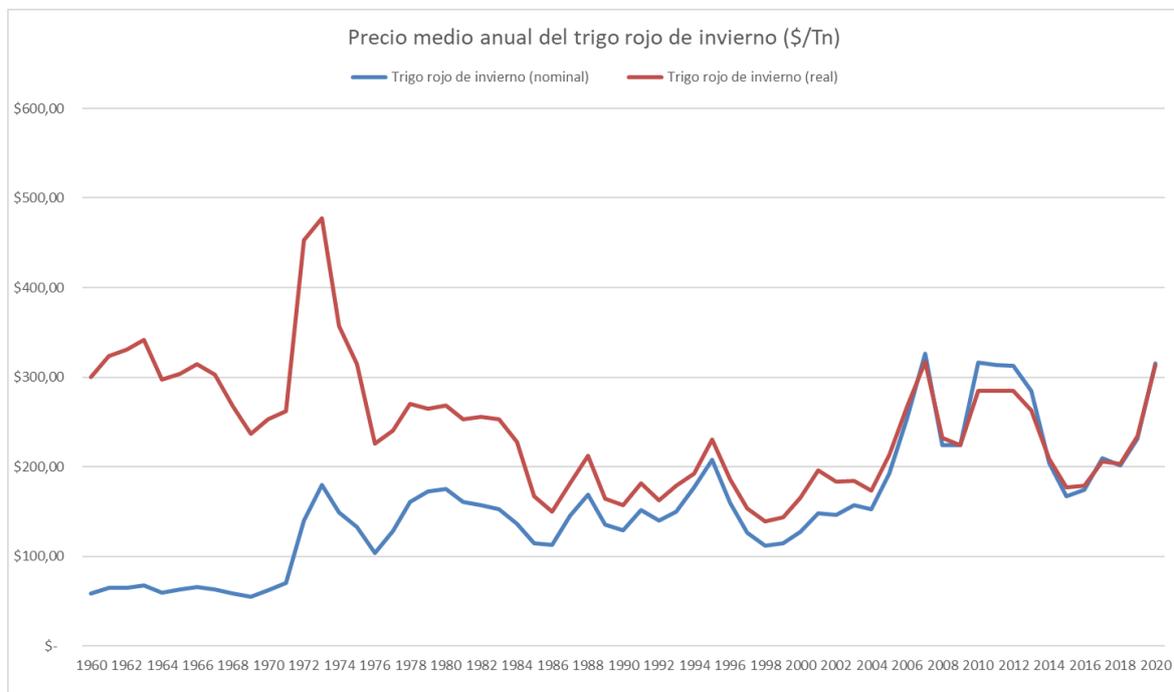


Figura 1. Precio medio anual del HRW (Banco Mundial, 2022c)

Como se puede observar en la Figura 1, el perfil general de la curva indica que el precio nominal del trigo desde mediados del siglo XX presenta una tendencia positiva hasta nuestros días, pero este dato es engañoso debido a la inflación. Basándonos en la curva de precios nominales, podemos discernir tres periodos sutilmente diferenciados. El primero, que abarca desde 1960 hasta 1986, presenta una tendencia a la baja exceptuando los tres años siguientes a 1972. Este hecho nos da una pista sobre uno de los principales factores que

podrían afectar a la valoración del trigo: la energía. La crisis del petróleo de 1973 (o primera crisis del petróleo) tuvo lugar cuando el precio del crudo se cuadruplicó debido a una guerra entre Israel y Egipto, seguida de un embargo de petróleo por parte de los países árabes. Esto llevó a un aumento generalizado de los precios de los combustibles y a una recesión económica en todo el mundo. Al ser una *commodity*, es lógico pensar que el valor del trigo dependerá notablemente de los ciclos económicos: en épocas de poca bonanza, los inversores tenderán a buscar seguridad en los activos tangibles, como las materias primas. A primera vista se podría pensar que el aumento en el precio del trigo se debe exclusivamente a la inflación que causó la crisis, pero como podemos observar en la curva de precios reales, el precio del trigo casi se duplicó desde los 262,13 USD/Tn en 1972 hasta los 452,66 en 1973. La segunda crisis del petróleo, ocurrida en 1979 tras la revolución iraní y la guerra entre Irán e Irak, también afectó a los precios del trigo. Este hecho, que claramente se refleja en los precios reales del crudo, no tuvo un impacto tan importante en el precio del grano. Para ayudar a mostrar este hecho, se incluye a continuación una Figura 2 se puede observar la comparativa entre los precios reales del HRW y el barril Brent durante el mismo periodo

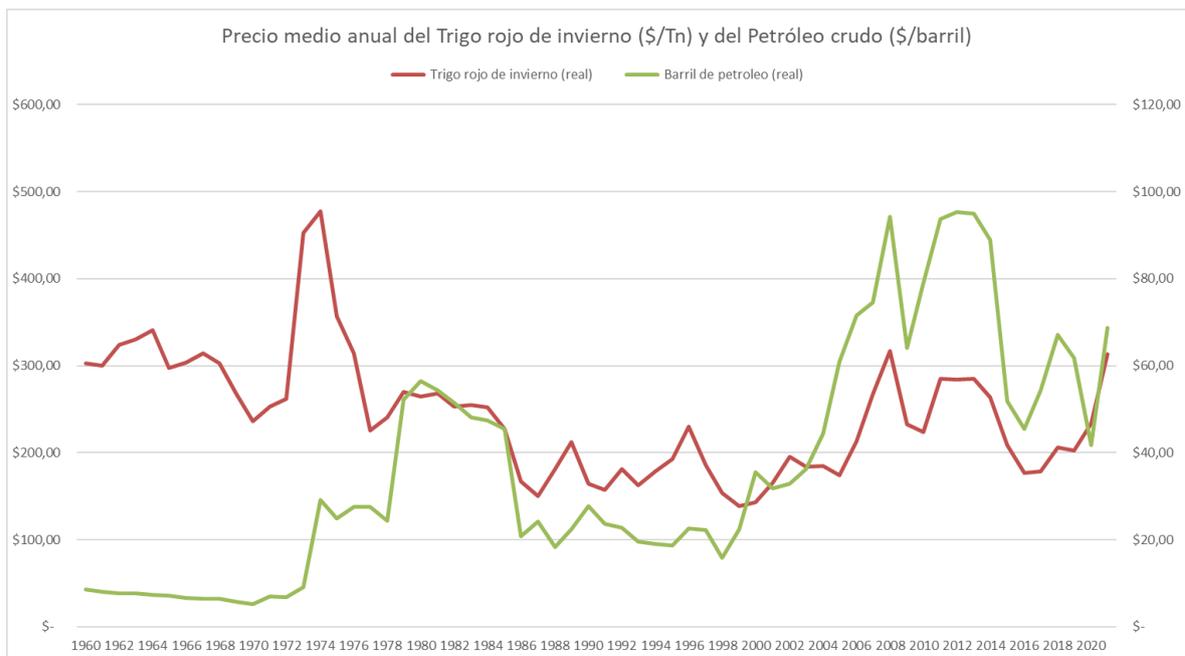


Figura 2. Precio medio anual real del HRW y el barril Brent (Banco Mundial, 2022c)

El segundo periodo abarca desde 1986 hasta 2007. Durante esta década, el precio del trigo se mantuvo medianamente estable, oscilando entre los 140 y 250 USD/Tn. De nuevo, el barril de crudo parece mantenerse también estable, lo que parece reforzar lo anteriormente dicho sobre los ciclos económicos. Por último, el tercer periodo comienza en 2007, y, coincidiendo con el inicio de la Crisis Inmobiliaria, el precio del trigo se dispara, alcanzando su segundo pico histórico en 2008 con más de 300 USD/Tn. Durante este periodo, el comportamiento de los dos activos es muy similar. Esto se puede ver en la fuerte caída que sufre el precio del trigo durante las caídas de precios del petróleo en el 2010 y el 2014 (Wikipedia, 2022).

2.3 IMPLICACIONES AMBIENTALES

El trigo se cultiva en todo el mundo y su producción tiene un impacto significativo sobre el medio ambiente. Entre los más importantes se incluyen la destrucción de hábitats y ecosistemas naturales, la utilización de productos químicos, el uso de recursos naturales, las emisiones de gases de efecto invernadero, y el desperdicio de alimentos.

Para cultivar trigo, se deben adecuar grandes extensiones de tierra, lo que destruye los hogares de muchos animales y plantas. Esto puede conducir a una pérdida de biodiversidad y una disminución en la salud general de un ecosistema. El Banco Mundial estima que en la actualidad más de un tercio (un 36,5%) de la superficie terrestre se destina íntegramente a la actividad agrícola (2021).

Además, la producción de trigo también depende en gran medida del uso de productos químicos nocivos, como los fertilizantes. Estos productos químicos pueden contaminar el aire, el agua y el suelo y tener un impacto negativo en la salud humana. También contribuye directamente al cambio climático al liberar gases de efecto invernadero durante su producción. Entre los fertilizantes más utilizados se encuentra el nitrato de amonio (NH_4NO_3), el cual es ideal para los cultivos por su alto contenido en nitrógeno (34%) y su fácil absorción por parte de las plantas (Mitchell, 1999). Este compuesto es tan utilizado que

el 43% de las emisiones de efecto invernadero asociadas a una barra de pan son producidas por su uso (EFE, 2017). Además del nitrógeno, al trigo se le suelen aplicar, en menor medida, otros aditivos, como fósforos y potasio (Mitchell, 1999).

Otro problema importante con la producción de trigo es el alto uso de recursos naturales, especialmente en tierra cultivable y agua. Pese a que no es una planta especialmente exigente en agua, la enorme cantidad de tierra explotada hace que esta cantidad no sea desdeñable (FAO, 2021b). En los cultivos de secano, el trigo obtiene el agua directamente de las precipitaciones, lo que se conoce como “agua verde”, mientras que en los de regadío es necesario regar los campos de dos a tres veces al año para obtener un mejor rendimiento, lo que supone un aumento considerable de agua. Además, el proceso de cultivo, procesamiento, transporte y venta del trigo emite una cantidad importante de gases de efecto invernadero a la atmósfera, lo que contribuye al cambio climático (Maple Ridge, 2015).

Finalmente, la producción de trigo genera una gran cantidad de desperdicio de alimentos. No toda la tierra cultivada se llega a cosechar, lo cual tiene lugar cuando el precio del trigo no compensa económicamente al agricultor. Por ejemplo, en 1989 se cultivaron casi 31 mil hectáreas dedicadas al trigo en EE. UU., mientras que solo llegaron a recogerse tres cuartos (Kenyon, & Lucas, 1998). A esto, además, hay que sumarle ineficiencias en la siembra, cosecha y tratamiento, malas remesas y desperdicio en los productos finales, como el pan.

Capítulo 3. OFERTA DE TRIGO

En este capítulo se discutirán todos los aspectos que se deben tener en cuenta para modelar la oferta de trigo. Se explicará el proceso de producción, almacenamiento y transporte, así como otros factores externos que pudieran tener impacto sobre la oferta del cereal.

3.1 PROCESO DE PRODUCCIÓN

Pese a que existen numerosas variedades de trigo, todas ellas tienen un proceso de producción muy similar. En este apartado se discutirán todos los temas relacionados con la producción del trigo desde un punto de vista agrícola, los cuales son compartidos en su mayoría por otros cereales similares como la cebada, la avena o el centeno. Cabe indicar que a continuación se describirán las técnicas de producción más avanzadas, las cuales normalmente no tienen lugar en los países en vías de desarrollo o subdesarrollados.

3.1.1 PREVIO AL CULTIVO

Antes de tratar la producción de trigo en sí, se darán algunas pautas de cuáles son las mejores condiciones para que este cereal prospere, como pueden ser las temperaturas, el tipo de suelo o la cantidad de agua.

Pese a que el trigo crece en una gran variedad de climas, los templados son los ideales. Solo este clima garantiza las temperaturas óptimas que este cereal requiere, que se sitúan entre los 15 y 20 grados centígrados de media. El trigo invierno es el que más se beneficia de estas temperaturas, ya que se siembra en otoño y es capaz de aguantar la estación invernal en un estado de latencia y germina con mucha más fuerza a finales de la estación, cuando las condiciones climáticas son óptimas. Esto solo puede ocurrir en zonas donde el invierno no sea demasiado duro, es decir, en latitudes menores. En lugares con menores temperaturas medias, será necesario plantar trigo de primavera, que es considerablemente menos productivo debido a su ciclo corto (FAO, 2021b).

El suelo es otro importante factor para considerar. El trigo es un cultivo que se adapta a una amplia variedad de suelos, desde los ligeros y arenosos hasta los más pesados y arcillosos, siempre y cuando estén bien drenados y mantengan un nivel de PH entre el 5,5 y 6,5 (Traxco S.A., 2017). En general, se prefieren los suelos más ligeros y con un buen contenido en materia orgánica, ya que permiten un mejor desarrollo de la planta y una mayor facilidad para el cultivo. La altitud del suelo también es importante, siendo los terrenos más productivos los ubicados a una altura mayor (más de 800 metros sobre el nivel del mar) (FAO, 2021b). En el caso de que el suelo no sea idóneo para el cultivo de trigo, o se desee aumentar la producción por hectárea, cabe la posibilidad de emplear fertilizantes y abonos.

Como en la mayoría de los cultivos, la cantidad de agua afecta mucho a su crecimiento y, por tanto, a la productividad de la tierra. Para su correcto desarrollo, el trigo necesita un mínimo de entre 300 y 450 mm de agua durante su ciclo de vida, aunque un uso de entre 450 y 600 mm es recomendable para aumentar la producción por hectárea (FAO, 2021b). Esta agua puede tener varios orígenes, siendo los dos más comunes el agua de lluvia y el de la propia tierra. Los cultivos de regadío también obtienen una fuente adicional de este recurso a través del riego, pero requieren una inversión inicial muy elevada o la instalación de la infraestructura es directamente inviable desde un punto de vista económico (John Basera & Tegwe Soko, 2016). Como es lógico, las tierras que reciben más agua son considerablemente más productivas.

Pese a todos los factores anunciados, el trigo es un cereal muy resistente capaz de crecer en climas muy duros. Es por ello por lo que muchas veces se cultiva muy alejado de las condiciones correctas para su pleno desarrollo, por lo que la rentabilidad que ofrece esta planta por área es muy variable alrededor del mundo (ERS/USDA, 1995).

3.1.2 SIEMBRA

Pese a que todo el trigo se siembra con métodos similares, existe una clara diferencia entre el trigo de invierno y el de primavera, que es la época de siembra. El trigo de invierno se

siembra a mediados o finales del otoño, mientras que el trigo de primavera se cultiva a comienzos o mediados de la temporada homónima (CME Group, 2018).

La siembra del trigo es un proceso que requiere mucha preparación. Antes de sembrar, se debe limpiar el terreno de cualquier vegetación que pueda estar presente, principalmente restos de cosechas anteriores y de malas hierbas, empleando una desmenuzadora. A continuación, un rastrillo tritura y mezcla los restos orgánicos desmenuzados con la tierra. Después, se pasa una niveladora para allanar la tierra de la forma más uniforme posible.

Ya preparado el suelo, el arado pasa de nuevo formando los surcos en la tierra separados por una distancia de entre 15 y 20 cm y con una profundidad de entre 3 y 6 cm dependiendo de la variedad de trigo. Mientras se ara la tierra, la propia máquina va depositando las semillas en los surcos con una precisión milimétrica gracias al GPS. Se suelen plantar entre 100 y 300 kilos de semillas por hectárea (Alonso, 2022). Tras sembrar el terreno, se procede a tapar el grano de nuevo para evitar depredadores (principalmente aves) y protegerlo de las inclemencias climáticas.

3.1.3 DESARROLLO

El desarrollo de la planta de trigo incluye desde la germinación, pasando por el ahijamiento, el encañado y el espigado, y finalizando por la maduración.

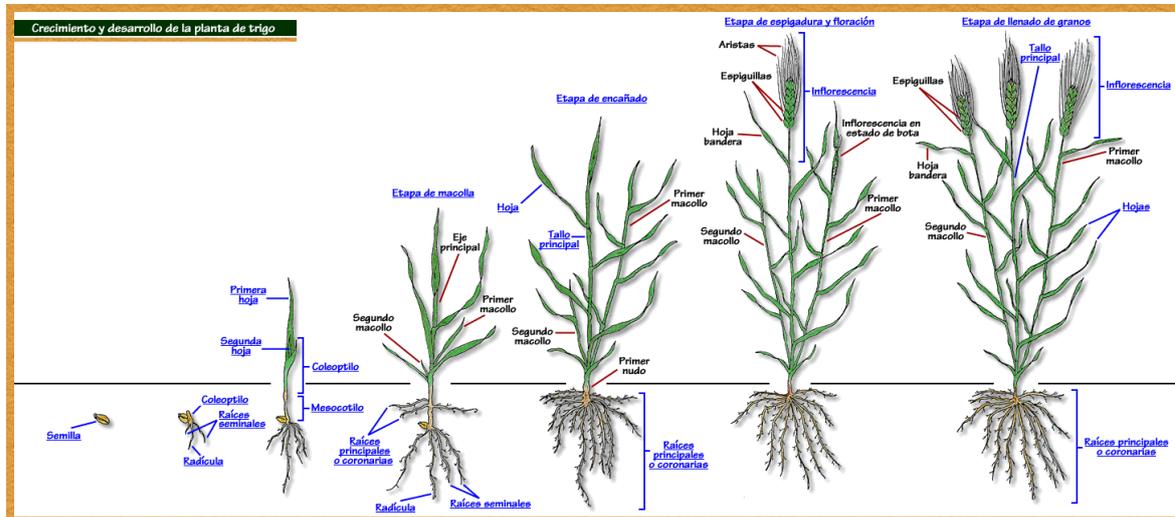


Figura 3. Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Trigo (Universidad Católica de Chile, 2014)

Ya sembrado el trigo, este comienza a germinar. Durante este periodo, el grano emplea sus reservas internas para formar el sistema de raíces primarias y las primeras hojas verdes, momento a partir del cual la planta puede alimentarse por sí misma. Durante el ahijamiento, se comienza a desarrollar el tallo (caña) principal, denominado padre o macollo principal. De él surgen el resto de los macollos, que se originan en la axila de una hoja o en el nudo principal de la planta (el núcleo de sus raíces). Los macollos principales son los que se desarrollan del nudo principal, mientras que los secundarios, llamados hijos, se desarrollan de la axila de un principal, los terciarios de la axila de una secundaria y así sucesivamente (Miller, 2000). La cantidad de macollos depende de múltiples factores, como la variedad de trigo, los nutrientes del suelo o la cantidad de agua, entre otros. El número normal de macollos por planta ronda los 20, pero hay variedades que en condiciones favorables pueden superar los 300 (Castañeda-Saucedo et al., 2004)

Al llegar la fase de encañado, la planta pierde la capacidad de generar nuevos hijos y los macollos comienzan a alargarse de forma más acentuada. Su altura y anchura, al igual que el número de macollos, depende principalmente de la variedad de trigo. Aquí es cuando la planta alcanza su madurez sexual: los estambres se secan, se caen y el ovario fecundado va

creciendo hasta convertirse en trigo verde. Al llegar el espigado, las hojas comienzan a secarse al transportar todos sus nutrientes a los futuros granos de trigo (Miller, 2000).

En este punto la planta está a punto de madurar completamente. Ya secas las hojas, los tallos de color verde comienzan a secarse hasta tornarse amarillos y quebradizos, convirtiéndose en paja. Por su parte, el grano va adquiriendo los últimos nutrientes de la planta hasta formarse completamente, tras lo cual definitivamente muere.

3.1.4 COSECHA Y ALMACENAMIENTO

Ya formado el grano, se procede a cosechar el cereal. Para saber cuál es el momento óptimo, basta con tomar espigas al azar de diferentes puntos del cultivo, frotar sus inflorescencias y observar cómo fácilmente se obtienen sus granos. Cabe señalar que la cosecha no puede demorarse mucho llegado este punto, ya que la paja está completamente seca y el peligro de incendio es muy elevado, además de que las aves aprovecharán para comerse el grano (Miller, 2000).

Tras decidirse la fecha de recogida del fruto, que suele ocurrir desde el final de la primavera hasta mediados del verano en los trigos de invierno y desde el final del verano hasta el comienzo del otoño en los de primavera, comienza la recolección del cultivo. En los cultivos más punteros, se emplean cosechadoras combinadas, capaces de segar (cortar a ras de suelo) y trillar (separar el grano de la paja) directamente. Normalmente, el grano es dirigido a un contenedor tirado por un tractor que discurre en paralelo a la cosechadora, mientras que la paja se deja caer detrás de la misma, ya sea suelto o directamente empaquetado en fardos. Si se emplean máquinas menos avanzadas, es necesario que el grano se limpie y se separe de la paja en una instalación después de la cosecha. Es preciso señalar que la posición y revoluciones del molinete, la velocidad de siega o el número de dientes, entre otros factores, dependen mucho de la variedad del trigo y de las condiciones específicas del cultivo ese año, como la humedad, el suelo o las temperaturas (FAO, 1998).

Finalmente, en el campo solo quedan los fardos de paja y el rastrojo. Por su parte, los fardos de paja se recogen y almacenan a mano, típicamente transportándolos en un remolque tirado

por un tractor. Tras esto en el campo solo queda el rastrojo, que los 5-10 cm inferiores de la paja que la cosechadora no puede recoger debido a su cercanía con el suelo. Con el objetivo de limpiar el terreno para la siembra del año que viene, se trilla empleando un tractor, lo que desmenuza el rastrojo, abonando la tierra al mismo tiempo que la oxigena para la próxima siembra (CME Group, 2018).

Normalmente, el grano no es transportado directamente a su destino final, sino que se almacena en un silo o granero. Esto es necesario debido a que el grano es muy sensible a condiciones ambientales, como la humedad, la temperatura o la limpieza, y a depredadores, como insectos o ratones. Los silos modernos mantienen el grano en celdas aisladas con unas condiciones ideales, por lo que pueden permanecer semanas o incluso meses en perfectas condiciones (Beas, 2021).

3.2 TRANSPORTE

Tras explicar el ciclo de vida del trigo desde su siembra hasta su cosecha, se procederá a explicar como el grano llega a su destino final. El traslado del cereal se suele realizar principalmente a través de tres medios de transporte: el camión, el tren y el barco (CME Group, 2018). Normalmente, el grano suele emplear uno o varios de estos métodos de transporte para llegar a su destino, que suele ser otro silo, un molino o una fábrica.

El camión es el medio utilizado para mover el grano desde las granjas hasta los puntos de venta, las estaciones ferroviarias y los puertos marítimos. Debido a su mayor coste por tonelada de grano transportada, en lo posible se evita este medio terrestre, prefiriéndose el tren carguero. Este último es más eficiente para transportar grano por tierra, pero presenta muchas limitaciones debido a las infraestructuras adicionales que requiere su utilización. Su principal inconveniente no es solo que se necesiten vías cercanas a las granjas, sino también terminales agrarias con el equipo adecuado, como elevadores de grano y silos especializados (Beas, 2021).

Al igual que ocurre con los ferrocarriles, el transporte marítimo requiere de instalaciones especializadas, similares a las terminales agrarias. Con el objetivo de reducir la dependencia con del tráfico rodado y reducir costes, muchos de los puertos presentan conexiones directas de ferrocarril. Debido a esto, el uso de puertos no siempre es viable, pero los grandes países exportadores los utilizan al ser el medio más eficiente por tonelada transportada con diferencia.

Pese a que el trigo es un cereal muy resiliente y se cultiva en todo el mundo, la infraestructura y las inversiones que estas requieren hace que los países exportadores sean en su mayoría economías desarrolladas, ya que son estos los únicos capaces de transportar su trigo a un coste lo suficientemente bajo como para que compense comprarlo en los mercados internacionales.

3.3 OTROS FACTORES QUE AFECTAN DIRECTAMENTE A LA OFERTA DE TRIGO

Ya explicado en detalle el proceso de producción, almacenamiento y transporte del cereal, se discutirán a continuación otros factores que afectan directamente a la oferta de trigo. Estos son el remanente de la temporada pasada, el área sembrada y el área no cosechada.

3.3.1 REMANENTE DE LA TEMPORADA PASADA

Como es lógico, no todo el grano cosechado de una temporada se llega a consumir al final de esta. Este grano sobrante es uno de los factores más importantes a la hora de prever la oferta de trigo del año siguiente. Si este año el grano sobrante ha aumentado respecto al de la temporada pasada, significará que este año ha habido un aumento de la oferta sobre lo pronosticado, por lo que los precios menguarán. Esto puede deberse, por ejemplo, a un aumento en el rendimiento de los cultivos por una temporada invernal más templada de lo previsto. Como cualquier *commodity*, cabe señalar que el remanente no siempre surge como un error natural entre la oferta y la demanda de trigo, sino que puede tener un componente estratégico, normalmente dirigido por los Estados.

Los datos sobre la producción sobrante son esenciales para los agricultores, ya que tienen la oportunidad de cambiar su producción según las expectativas de precios (Kenyon & Lucas, 1998). Si estos se reducen, como en el caso anterior, los productores podrían decidir cambiar parte de su producción, lo que a su vez reduce la oferta de trigo. Este factor tiene, además, una importancia muy singular, y es que no está basado en especulaciones, como lo son el clima o los precios del petróleo. Las toneladas sobrantes son un dato inamovible basado en el pasado inmediato, lo que explica por qué los agentes del sector (agricultores, especuladores, *traders*...) le dan tanta importancia (Kenyon & Lucas, 1998).

3.3.2 ÁREA SEMBRADA

La cantidad de hectáreas está directamente relacionada con la cantidad de trigo producido. Pese a que esto es una obviedad, cabe señalar que los agricultores tienen, por lo general, cierta libertad a la hora de escoger entre unos cultivos u otros. Por ejemplo, si se pronostica que el invierno va a ser excesivamente duro, es posible que los agricultores prioricen el cultivo de maíz, un cereal mucho más resistente, aunque con menor beneficio por hectárea, frente al del trigo en esa zona geográfica (Kenyon & Lucas, 1998). Puede ocurrir justo lo contrario si el clima va a ser muy favorable. Un pronóstico de lluvias bueno para este año puede hacer que el agricultor cambie su producción de maíz a una de trigo.

El rendimiento de los cereales, es decir, la cantidad de grano que se cosecha por área cosechada, ha crecido exponencialmente desde comienzos del siglo 20. El Banco Mundial estima que tan solo desde comienzos de los 60 hasta el día de hoy, la eficiencia productiva ha aumentado de media de los 1500 a 4000 kg por hectárea, que supone de un aumento de casi el 260% (2022). Esto se debe a múltiples factores, entre los que destacan una mayor tecnificación en las técnicas de cultivo, el aumento en el uso de fertilizantes y el desarrollo de variedades de trigo más eficientes.

3.3.3 ÁREA NO COSECHADA

Los agricultores no llegan a cosechar todas las hectáreas que siembran. Esto se debe a que, en muchas ocasiones, los costes asociados al mantenimiento del cultivo durante su desarrollo

o los asociados a su recolección durante la cosecha no llegan a superar el precio de venta del grano. Esto puede estar relacionado con la propia planta, que no ha obtenido un buen rendimiento por hectárea, o a factores externos, como un aumento en los costes operativos. Si, por ejemplo, al aumentar el precio del gasóleo el granjero no puede permitirse comprar todo el combustible necesario para recolectar completamente su cosecha, puede optar por dejar parte de sus cultivos sin recoger.

Esta es una práctica ampliamente extendida en el sector. Entre los años 1989 y 1997, tan solo el 86% de las hectáreas de trigo cultivadas en Estados Unidos llegaron a cosecharse (Kenyon & Lucas, 1998). Es importante señalar que los cultivos no recolectados no son un activo completamente perdido, ya que, tras dejar morir a la planta, se vuelven a trillar esas hectáreas con el objetivo de abonar la tierra para la temporada siguiente.

3.4 FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN A LA OFERTA DE TRIGO

Además de los factores directamente relacionados con la producción de trigo, hay numerosas variables externas que afectan al sector. Estas pueden tener un origen humano, como el precio de los fertilizantes y el petróleo, la intervención y ayuda gubernamentales y la geopolítica; o naturales, como las plagas y enfermedades y el clima.

3.4.1 PRECIO DE LOS FERTILIZANTES

Los fertilizantes juegan un rol fundamental en la producción de trigo. Principalmente, este cereal necesita fertilizantes NPK (nitrógeno, fósforo y potasio), los llamados macronutrientes. Debido al uso intensivo del terreno cultivable, el suelo requiere aportaciones adicionales de estos nutrientes cada temporada, lo que explica la importancia de los abonos en la producción. Según el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), prácticamente todos los agricultores americanos emplearon compuestos de nitrógeno en sus cultivos en la temporada de 1994/1995. Por su parte, el fósforo y el potasio se utilizaron en un 75 y 40% de las granjas, respectivamente (ERS/USDA, 1995).

Es necesario aclarar que el cómo y cuándo se emplean los fertilizantes durante el proceso de producción es muy variable según múltiples factores geográficos (lluvia, tipo de suelo...), pero la realidad es que su uso está mucho más ligado a la renta per cápita. Por ejemplo, en países europeos como Francia u Holanda, el uso de fertilizantes está ampliamente extendido, lo que resulta en un importante aumento en la eficiencia por área. En el lado contrario, la mayoría de los agricultores de los países del África Subsahariana, como Somalia o Etiopía, no pueden permitirse esta inversión (FAOSTAT, 2021; Banco Mundial, 2022a).

3.4.2 PRECIO DEL PETRÓLEO

Al igual que en la mayor parte de sectores, el petróleo es un elemento fundamental en la cadena productiva del cereal. El precio de la energía, históricamente ligado a la del petróleo, está directamente asociado con los costes operativos del uso de la maquinaria agraria, como los tractores y las cosechadoras, o con los medios de transporte del grano, que funcionan en su mayoría por combustibles fósiles (CME Group, 2018). Indirectamente, también son afectadas otras industrias asociadas, especialmente la simiente y la química, cuyos productos suponen una importante parte de los costes del trigo. La industria química tiene un enorme peso en el mundo agrícola, ya que de ella dependen los fertilizantes, abonos y pesticidas. En 1994, el coste en semillas, fertilizantes y combustibles supusieron casi el 50% de los costes totales de producción de trigo en Estados Unidos (ERS/USDA, 1994), lo que indica que el precio del petróleo tiene un peso muy relevante en la industria.

3.4.3 AYUDAS Y PLANIFICACIÓN GUBERNAMENTALES

A principios del siglo XXI, el mercado mundial de cereales experimentó cambios importantes. Por su naturaleza, la producción de cereales es muy variable debido a las condiciones climáticas, lo que dificulta a los agricultores predecir sus cosechas. Con el fin de estabilizar la oferta de cereales y garantizar a los agricultores unos ingresos mínimos, los gobiernos comenzaron a intervenir en el mercado mediante la concesión de subvenciones y la planificación de la producción.

Los primeros subsidios a los cereales se introdujeron en los Estados Unidos a principios de la década de 1930. Su objetivo fue ayudar a los agricultores a recuperarse de la Gran Depresión y estabilizar el precio del mercado de los cereales. Desde entonces, las políticas referentes a este mercado han sido muy variadas dependiendo de la región. Dos casos muy diferenciados son, por ejemplo, el de Estados Unidos y la Unión Europea. Por su parte, el Departamento de Agricultura de los EE. UU. (USDA), mantiene desde 1996 unas políticas de planificación agrícolas extremadamente laxas (U.S. Congress, 1996). Esto es lógico, ya que este país es uno de los exportadores de cereales más eficientes de todo el mundo. Por su parte, la Unión Europea posee un programa de planificación y ayudas agrícolas mucho más fuerte. La Comisión Europea, a través de la Política Agrícola Común (PAC) creada en 1962, protege el mercado europeo con el objetivo de garantizar un modo de vida sostenible a sus agricultores (Comisión Europea, 2022). Si no existiera este plan de ayudas, los países integrantes de la Unión serían extremadamente dependientes del exterior, lo que pondría potencialmente en peligro la alimentación de sus ciudadanos frente a una catástrofe.

3.4.4 GEOPOLÍTICA

Pese a que el trigo es un cereal que se produce a nivel global debido a su calidad nutritiva y su adaptabilidad a toda clase de climas, lo cierto es que la mayor parte de su producción se encuentra muy concentrada en unos pocos países. Dado que se trata de un alimento esencial en la cadena alimentaria de decenas de países del mundo, los países productores, y en especial los exportadores, poseen un gran poder sobre este mercado. Tan solo Rusia, Estados Unidos, la Unión Europea, Canadá, Australia y Ucrania abarcan más del 90% del sector exportador (U.S. Wheat Associates, 2022), lo que les brinda una enorme influencia en todo el comercio internacional.

La Guerra de Ucrania es reflejo del impacto que la geopolítica puede tener en el mercado de los cereales. Desde que se inició el conflicto, la armada rusa bloqueó los principales puertos de grano del país báltico (Odesa, Chornomorsk y Pivdeni), dando lugar a una escalada de precios sin precedentes a nivel global. Desde el inicio de la guerra en febrero de 2022 hasta agosto del mismo año, el precio del trigo subió un 110% (Donley, 2022). Debido al efecto

sustitutivo, esta subida impulsó a su vez el encarecimiento de otros cereales como el maíz y la soja, cuyos precios subieron un 140 y 90%, respectivamente. Cabe señalar que este aumento de costes no está ligado íntegramente a la falta de suministro de trigo, sino a otros factores, también de características geoestratégicas (Donley, 2022).

3.4.5 PLAGAS Y ENFERMEDADES

El trigo es una de las principales fuentes de alimento en el mundo y es esencial para la agricultura. Sin embargo, el trigo también es susceptible a una gran variedad de plagas que pueden causar daños significativos a los cultivos. Las principales enfermedades del trigo son causadas por los virus, bacterias, hongos, insectos y animales salvajes. A menudo, estas plagas pueden ser controladas mediante el uso de pesticidas, pero no suelen ser baratos y pueden causar efectos indeseados en el cultivo o la tierra en el largo plazo. Por lo tanto, es esencial para los agricultores identificar y controlar las plagas del trigo de manera efectiva y segura.

Que los cultivos de trigo puedan o no ser susceptibles de una plaga u otra depende de múltiples factores, siendo el más importante el área geográfica donde se encuentre la producción. Por ejemplo, en Argentina las principales plagas son insectos, como el gusano blanco, el pulgón, la oruga o las chinches (Flores & Saluso, 2018). Esto no ocurre en otras regiones, como España, cuyas principales plagas son hongos, como la septoriosis, la roya y el mildiu (Centro de Sanidad y Certificación Vegetal de Aragón, 2017). Esto es debido a que los cultivos de ambos países poseen diferentes características geográficas, como el clima, el suelo, la altitud y la fauna, entre otras.

Por último, cabe señalar que el trigo puede verse afectado en múltiples etapas de su desarrollo e, incluso, en su almacenaje y transporte. Es por ello por lo que todo el proceso de producción, desde la siembra hasta el consumo, debe vigilarse meticulosamente para proteger la calidad del grano, garantizando así el bienestar de los consumidores finales (CME Group, 2018).

3.4.6 CLIMA

El clima es uno de los factores determinantes en la producción de trigo a nivel global. Las condiciones climáticas severas pueden conducir a rendimientos más bajos, que suelen acarrear un aumento de los precios, mientras que las condiciones más favorables generan mejores rendimientos, que causan el efecto opuesto.

La sequía es una de las condiciones climáticas más dañinas para el trigo. El trigo es un cultivo muy sensible a la falta de agua, especialmente en etapas tempranas de su desarrollo. Incluso una sequía moderada puede causar un mal desarrollo de la planta, lo que resulta en un peor rendimiento a final de temporada. En casos severos, la sequía puede hacer que la cosecha se pierda por completo, lo que tiene serias consecuencias para el agricultor y el bienestar alimenticio de la población en general.

Las inundaciones también pueden ser perjudiciales para la producción de trigo. Si bien la planta puede tolerar inundaciones leves, demasiada agua potencia el riesgo de que el trigo desarrolle enfermedades fúngicas (Centro de Sanidad y Certificación Vegetal de Aragón, 2017), lo que puede reducir los rendimientos. De forma análoga a las sequías, las inundaciones prolongadas pueden provocar que la planta se “ahogue” y que no llegue a madurar por completo, perdiéndose la cosecha parcial o completamente.

Las temperaturas extremas también pueden afectar negativamente a la producción de trigo. Las altas temperaturas pueden hacer que el cultivo madure prematuramente, mientras que las bajas temperaturas pueden retrasar la madurez. Pese a que ambas situaciones son corregibles, este desajuste en la previsión suele derivar en ineficiencias a la hora de gestionar correctamente los recursos agrarios. Mientras que las altas temperaturas solo reducen la eficiencia del terreno cultivado, las heladas, especialmente las repentinas, pueden llegar a matar a la planta antes de que finalice su desarrollo.

Si bien el clima puede tener un impacto significativo en la producción de trigo, es importante señalar que el trigo es un cultivo relativamente resistente. Puede tolerar una amplia gama de condiciones climáticas, y, como se ha señalado anteriormente, los eventos extremos no

tienen por qué conllevar la pérdida completa de la cosecha. Sin embargo, el cambio climático está afectando gravemente a la producción agrícola en general y la de cereales en particular a nivel mundial. De esta forma, cada año se extreman las condiciones climáticas en todo el mundo, reduciéndose el espacio de tierra cultivable, aumentando la sequía y las inundaciones y extremándose las temperaturas (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2015). Es de esperar que el rendimiento por hectárea de trigo cultivado año tras año, lo que se conoce como rendimiento interanual, sea cada vez menos previsible, lo que aumentará el riesgo sobre los futuros del cereal

Capítulo 4. DEMANDA DE TRIGO

Paralelamente al capítulo anterior, se presentarán los principales factores que se deben tener en cuenta al establecer la demanda de trigo. De esta forma, se determinarán los distintos usos del trigo y los factores externos que pueden afectar a la demanda.

4.1 USOS DEL TRIGO

Desde la prehistoria el trigo ha tenido un papel fundamental en el desarrollo de la humanidad, no solo por su valor nutricional, sino por la amplia variedad de usos industriales que se le puede dar. Entre estos usos destacan la alimentación animal, la fabricación de algunos productos y, por supuesto, como semilla para las cosechas futuras.

Para simplificar, se dividirá la utilización del trigo en cuatro categorías: consumo humano (comida), consumo animal (piensos), simiente (semilla) e industrial. En 1999, el consumo humano directo supuso más de dos tercios del total a nivel mundial (un 67%), mientras que el grano destinado a piensos y nuevos cultivos fue de un 20% y un 7%, respectivamente. En último lugar quedaría relegado el uso industrial, con el 6% restante (Madrigal et al., 2009).

4.1.1 CONSUMO HUMANO

El consumo humano es, con clara diferencia, el uso mayoritario al que se destina el trigo. Esta utilización es la más predecible de las cuatro, ya que la demanda de alimentos producidos en base al trigo es, por lo general, muy estable. El aumento en niveles absolutos del trigo destinado a la alimentación humana sigue una tendencia histórica al alza con una pendiente casi constante, lo que parece indicar que aumenta de acuerdo con como lo hace la población mundial (Keyton & Lucas, 1998).

Pese a que el trigo se puede transformar en productos muy variados, su destino más común es la fabricación de harina, la cual se utiliza para preparar principalmente panes y pastas.

Estos dos alimentos constituyen la base alimenticia de decenas de países occidentales y orientales. El grano también se puede utilizar para la elaboración de otros alimentos, como galletas, pasteles, tortas, gachas, cereales “listos para consumir” y cerveza, entre otros (Maningat et Al., 2009).

4.1.2 CONSUMO ANIMAL

Pese a que se queda muy lejos respecto a la cantidad de grano que se destina al consumo humano, la fabricación de piensos abarca una importante parte de la demanda de trigo mundial. Estos piensos se obtienen de diversas formas, siendo los dos más comunes los forrajes y el propio grano, incluyendo sus derivados.

El forraje es una de las principales fuentes de piensos destinados a rumiantes (vacas, cabras y ovejas, principalmente), que son los únicos capaces de digerir la celulosa correctamente. Los forrajes pueden producirse de dos formas: por la vía seca, que resulta en el heno, y por la vía húmeda, que produce el ensilado. El heno, que es la hierba seca con grado mínimo de humedad, se puede obtener únicamente empleando la paja del trigo, pero esto resulta en una fuente de alimentación muy pobre (Britannica, 2011). Es por esto que la práctica más común consiste en mezclar la paja con forrajes más nutritivos, como el pasto o el trébol. También se puede producir heno a partir del trigo verde, lo cual conlleva cortar la hierba de trigo antes de que termine su maduración. De esta forma el heno obtenido es de una calidad nutricional mucho más alta, pero se sacrifica la obtención del grano (FEDNA, 2017).

Por su parte, los ensilados se obtienen empleando una técnica mucho más especializada, que consiste en dejar fermentar el forraje. Esto permite mantener mucho mejor las propiedades del heno, pero requiere inversiones mucho más elevadas. En la actualidad, esta técnica únicamente se encuentra muy extendida en Estados Unidos, pero no es muy común en el resto de los mercados (FEDNA, 2017).

Adicionalmente, el propio grano de trigo se puede emplear en la industria de piensos, mayoritariamente destinados a la producción animal de rumiantes, porcinos y aves. El trigo puede consumirse de varias formas, ya sea en grano entero, en salvado (solo la cascara) o en

piensos procesados. Como es lógico, el grano es una fuente alimenticia mucho mejor que los forrajes, con un alto contenido en proteínas y carbohidratos (Maningat et Al., 2009).

El mercado de trigo destinado a la alimentación animal es muy diferente al de consumo humano. Es mucho menos estable, principalmente debido a que depende en gran medida del precio del resto de cereales, como el maíz. En comparación con el trigo, este cereal puede crecer en condiciones más desfavorables y obtienen mejores rendimientos por hectárea. Además, posee un contenido energético mayor y una concentración en fibra menor, lo que lo hace idóneo para el consumo animal. Debido a la existencia de estos cereales sustitutivos, el grano de trigo únicamente se destina a animales cuando su precio relativo es lo suficientemente bajo (Keyton & Lucas, 1998).

4.1.3 SIMIENTE

Las semillas de trigo se obtienen principalmente de tres fuentes: las naturales de cosechas anteriores, las de vivero y las de modificación genética. Pese a que parezca contradictorio, el uso de semillas de cosechas propias es prácticamente inexistente. Esto es debido a que las semillas de vivero, criadas, cruzadas y manipuladas en condiciones idóneas por expertos agrarios son de una calidad muy superior. Se producen de forma masiva en viveros industriales, capaces de producir una semilla “ideal”. Esto es posible debido a que los productores son capaces de controlar prácticamente todas las variables que afectan al desarrollo de la planta, como la humedad y presión atmosférica, la fuerza y cantidad de luz solar, las propiedades del suelo, etc. Dado que los cereales se cultivan en medios mucho menos controlados, es virtualmente imposible que las semillas naturales sean de tan buena calidad como las industriales, dando rendimientos peores y ofreciendo menor resistencia frente a los elementos adversos. Es por esto por lo que la práctica más extendida es que los agricultores compren las semillas de vivero cada año y vendan la producción de grano de esa temporada en su integridad.

La “evolución natural” de las semillas de vivero serían las modificadas genéticamente (GM), que han obtenido un amplio reconocimiento en el sector en los últimos 20 años (ERS/USDA,

2022c). Las semillas GM son semillas creadas por biotecnología con el objetivo de reforzar ciertas características deseables, obteniéndose así mayores rendimientos, mejoras nutricionales, y aumentando la resistencia a herbicidas, plagas, alta salinidad y sequías, entre otros. Pese a estas atractivas propiedades, las semillas modificadas tienen una desventaja clara: son mucho más caras que las de un vivero tradicional. Aun así, muchos agricultores optan por ellas, principalmente por que hacen la cosechas más eficientes, seguras y predecibles.

Cabe señalar que la legislación, opinión pública y grado de adopción de los alimentos modificados genéticamente varía enormemente de una región a otra. Por ejemplo, en Estados Unidos más del 80% de los cultivos de soja, algodón y maíz se producen actualmente empleando semillas GM (ERS/USDA, 2022c). En contraste, en Europa el uso de estas semillas, pese a estar aprobadas muchas de sus variedades, es muy inferior (European Commission, 2022).

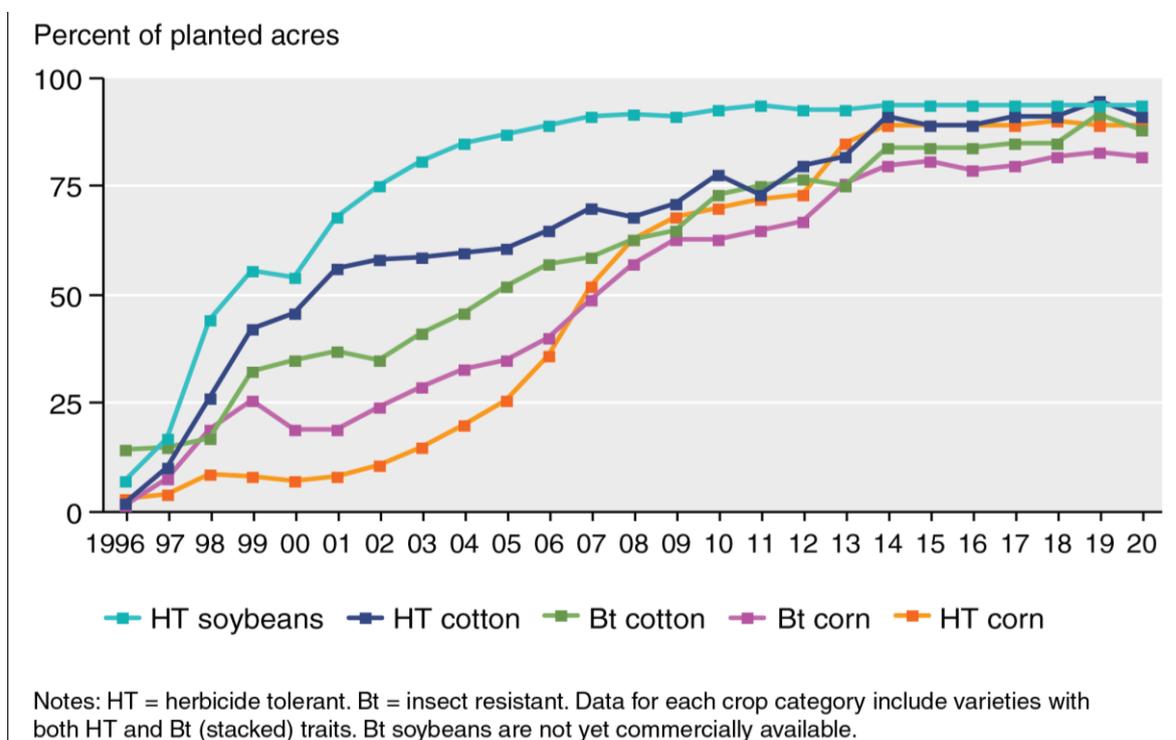


Figura 4. Adopción de cereales GM en Estados Unidos entre 1996 y 2020 (ERS/USDA, 2022c)

Por su parte, el trigo presenta una curiosa excepción, ya que no existe en la actualidad ninguna variedad comercial de trigo GM a excepción de la HB4, solo aprobada en Argentina (Heath, 2020). Observando la drástica tendencia que ha sufrido el mercado de semillas en estos últimos 20 años en Estados Unidos, lo esperable es que con el tiempo el uso generalizado de semillas de trigo modificadas acabe por imponerse en prácticamente todos los mercados, principalmente porque ofrecen una ventaja competitiva extremadamente fuerte.

4.1.4 INDUSTRIAL

Pese a que el uso industrial que se le da al trigo es muy reducido, sus compuestos son muy utilizados en multitud de sectores por razones muy diversas. Por ejemplo, su almidón se emplea para mejorar la resistencia del papel, su gluten para la fabricación de los encapsulados farmacéuticos y su germen para jabones y cremas personales. Otro uso muy interesante que se le puede dar es como combustible en forma de bioetanol, pero es muy residual. Esto es debido a que existen otras plantaciones mucho más idóneas para este uso, como el maíz o la caña de azúcar (Bashuk, 1986).

4.2 FACTORES EXTERNOS QUE AFECTAN A LA DEMANDA DE TRIGO

Al igual que por el lado de la oferta, existen numerosos factores externos que pueden afectar en mayor o menor medida la demanda de trigo en los mercados. Entre estos se encuentran el crecimiento poblacional y de renta per cápita, los sustitutivos, los subsidios del gobierno y el valor del dólar americano.

4.2.1 CRECIMIENTO POBLACIONAL Y DE RENTA PER CÁPITA

El crecimiento en la demanda de trigo parece estar estrechamente relacionado con el crecimiento de la población mundial. Como se puede observar en la Figura 5, la producción mundial de trigo ha aumentado de media un 1,6% anual entre 1980 y 2010, muy cercana a la tasa de crecimiento anual de la población durante el mismo periodo, cercana al 1,5%

(Naciones Unidas, 2022; Roser, 2013). Cabe señalar que este factor tiene un gran peso a la hora de estudiar la demanda de trigo, pero no tanto en su valoración en los mercados. Esto se debe a que este cambio se produce de forma muy gradual, y prácticamente no afecta a la variación de precios interanual.

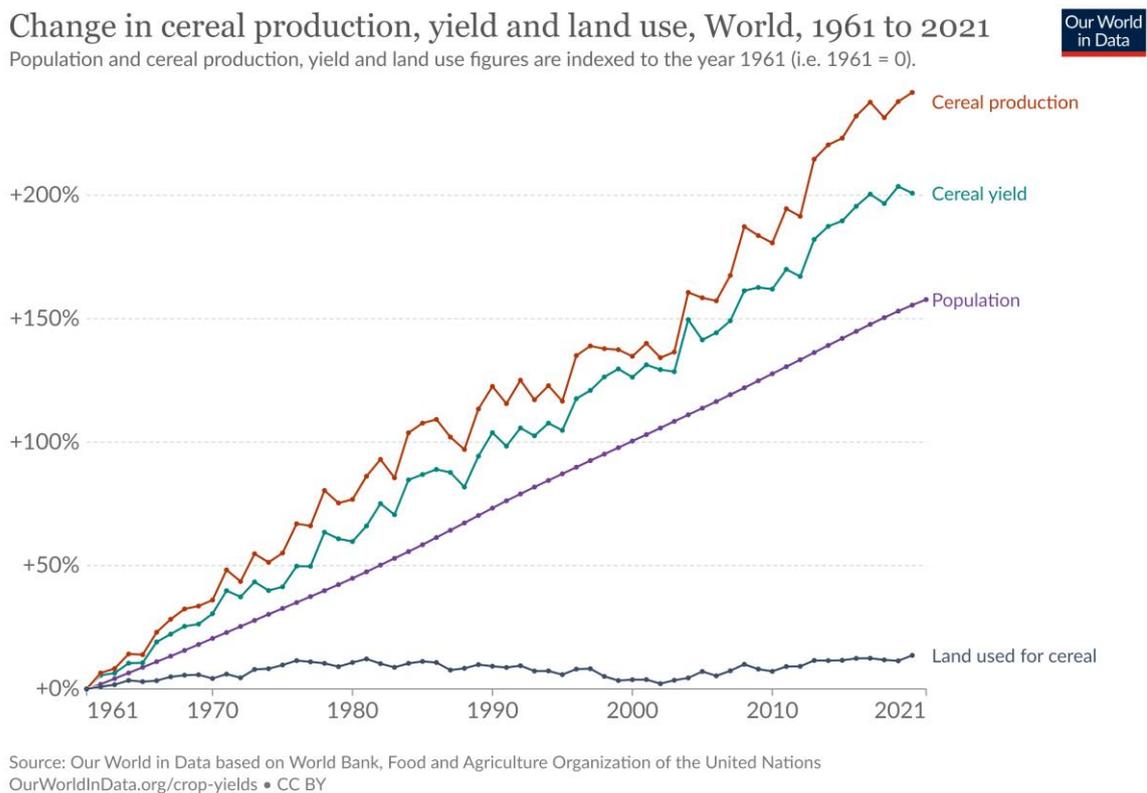


Figura 5. Evolución de la producción, rendimiento y tierras de cultivo de 1961 a 2021 (Roser, 2013)

El crecimiento del poder adquisitivo también es un factor determinante en el precio del trigo. A un mayor nivel de desarrollo, mayor consumo de trigo. Cabe esperar que en las próximas décadas el número de personas que se encuentran cerca o dentro del umbral de la pobreza disminuya, especialmente en los países subdesarrollados y en vías de desarrollo. En apenas 30 años (de 1990 a 2021), la renta per cápita se ha triplicado de los 5.500 dólares internacionales hasta casi los 19.000 (Banco Mundial, 2022b).

4.2.2 SUSTITUTIVOS

Los sustitutivos juegan un rol fundamental en el precio del trigo. Productos ricos en carbohidratos, como el maíz, el arroz, la cebada o la soja pueden fácilmente sustituir al trigo en muchas dietas. Cabe señalar, eso sí, que el uso del trigo tiene un peso cultural insustituible, especialmente en occidente. Esto hace que, en el mercado orientado al consumo humano, los clientes finales estén más predispuestos a asumir un aumento de los precios pese a que existan otras alternativas viables en su dieta.

El mercado de piensos tiene un comportamiento totalmente diferente. Esta parte de la demanda actúa de forma mucho más racional, basándose principalmente en la calidad de la materia prima y, por supuesto, de su precio (Keyton & Lucas, 1998). Esto explica por qué la demanda de trigo orientada al sector ganadero es tan variable, ya que la industria únicamente selecciona el trigo como compuesto viable para sus piensos si este es lo suficientemente barato en comparación con los sustitutivos.

Otro uso que se le puede dar al trigo es el de biocombustible. Como se mencionó previamente, el uso de esta planta como bioetanol no es el más viable económicamente en comparación con algunos de sus sustitutivos, pero esto no significa que esto no afecte a su precio (Gyarmati, 2017). Dado, por ejemplo, que el maíz es una gran fuente de bioetanol, la demanda industrial de este cereal podría dispararse en el futuro, lo que acabará por repercutir en mayor o menor medida al precio del trigo.

4.2.3 SUBSIDIOS DEL GOBIERNO

De forma análoga a la oferta, en muchos países del mundo el precio del trigo (típicamente la harina) se encuentra, en mayor o menor medida, intervenido por el estado. Desde un punto de vista económico, el Estado fija el precio del trigo por debajo del de mercado, pagando la diferencia a los productores e importadores. De esta forma, sus ciudadanos, que normalmente se encuentran en situaciones muy precarias, tienen acceso a una base alimenticia mínima.

Egipto, el mayor importador de trigo a nivel mundial, es uno de los países más importantes que mantienen subsidiado el precio del pan. Pese a que en 2021 produjo más de nueve millones de toneladas de trigo dentro de sus fronteras, el país necesita importar el 60% de su demanda nacional. Este caso es extremadamente delicado en la actualidad, ya que la mayor parte de su suministro de trigo (un 80%) proviene directamente de la región del Mar Negro, actualmente en disputa por la Guerra de Ucrania (Butler, 2022). Esta situación ejerce una gran presión fiscal sobre el Estado egipcio, que tiene que cubrir el coste de un subsidio mucho mayor al que está acostumbrado, viéndose obligado a recurrir a otros importadores más costosos (Reuters, 2022). Como es lógico, esto pone también directamente en riesgo alimenticio a su población, que ya de por sí se encuentra en una situación límite.

4.2.4 VALOR DEL DÓLAR AMERICANO

Como es costumbre en los mercados de *commodities*, el comercio de trigo a nivel internacional se rige en dólares americanos (Gyarmati, 2017). Esto significa que el cambio de tipo frente dólar estadounidense es una variable diferencial a la hora de establecer el precio del cereal en los mercados internacionales. Por lo general, la subida del dólar suele presionar los precios de materias primas a la baja. Esto es debido a que se vuelve más costoso adquirirlas frente a las monedas locales, por lo que los compradores (la demanda) tienden a recortar sus compras o buscar sustitutivos locales (Arias, 2020).

México, por ejemplo, fue mayor comprador de trigo del continente americano con un 40% del total de importaciones en 2020. Más de tres cuartos de estas importaciones (un 77,4%) provienen directamente de Estados Unidos (OEC, 2022). Si el dólar americano (USD) se apreciara frente al peso mexicano (MXN), los compradores del país hispano tendrían que invertir una mayor cantidad de su moneda nacional para adquirir la misma cantidad, por lo que verían menguado su poder adquisitivo a nivel internacional. Esto también afecta negativamente a los granjeros estadounidenses, ya que, como exportadores netos de trigo, les interesa que su moneda este débil a la hora de vender su producto internacionalmente.

Pese al desarrollo teórico mencionado en el párrafo anterior, en la práctica la transmisión de las tasas de cambio en los mercados agrícolas es incompleta, principalmente debido a las políticas de comercio internacional y a las condiciones del mercado. En el lado de las primeras nos encontraríamos con las cuotas, los aranceles y la fijación de precios; mientras que en el de las segundas estarían una infraestructura comercial deficiente y el poder de mercado que tienen los grandes agentes nacionales e internacionales. Cabe señalar que en las infraestructuras no solo se incluyen las físicas, como podrían ser los sistemas de transporte y almacenaje, sino también las instituciones, leyes, y mercados financieros y de información (Liefert, 2009).

4.3 DEMANDA MUNDIAL DE TRIGO (DE ACUERDO CON SU USO Y PAÍS)

El trigo es el segundo cereal más cultivado tras el maíz a nivel mundial y es, con diferencia, el mayor bien agrario comercializado internacionalmente. Su importancia es tal que los 770 millones de toneladas que se consumen de este cereal cada año constituyen entre el 19% y 24% de las calorías consumidas por toda la humanidad (Atchison, 2010). Este consumo de este cereal no es en absoluto homogéneo en el mundo, principalmente debido a condiciones climáticas, históricas, y culturales. Pese a ello, la globalización ha producido que muchos países, principalmente asociados al consumo de otros cereales como el maíz o el arroz, hayan incorporado alimentos basados en trigo dentro de su dieta cotidiana. En la temporada 2021/2022, los cinco territorios con mayor consumo doméstico fueron China, India, la Unión Europea (UE-27), Rusia y Estados Unidos; llegando a consumir más de la mitad de la producción mundial de trigo (ERS/USDA, 2022b).

World wheat market						
	2018/19	2019/20	2020/21	2021/22 estimate	2022/23 forecast	
					Previous (08 Jul 2022)	Current (02 Sept. 2022)
	(..... million tonnes) (..... percent) (.....)					
Production1/	731.4	759.7	776.0	778.1	770.3	777.0
Supply2/	1 021.0	1 033.8	1 059.8	1 070.3	1 069.9	1 074.1
Utilization	749.7	746.7	762.0	773.4	770.6	772.8
Trade3/	168.8	184.0	189.2	194.9	190.6	191.3
Ending Stocks4/	274.1	283.8	292.2	297.1	299.3	299.1
	(..... percent) (.....)					
World stock-to-use ratio	36.7	37.2	37.8	38.4	38.0	38.0
Major exporters' stock-to-disappearance ratio5/	18.1	15.5	15.5	17.1	18.0	17.5

Figura 6. Datos del mercado mundial de trigo (FAO, 2022b)

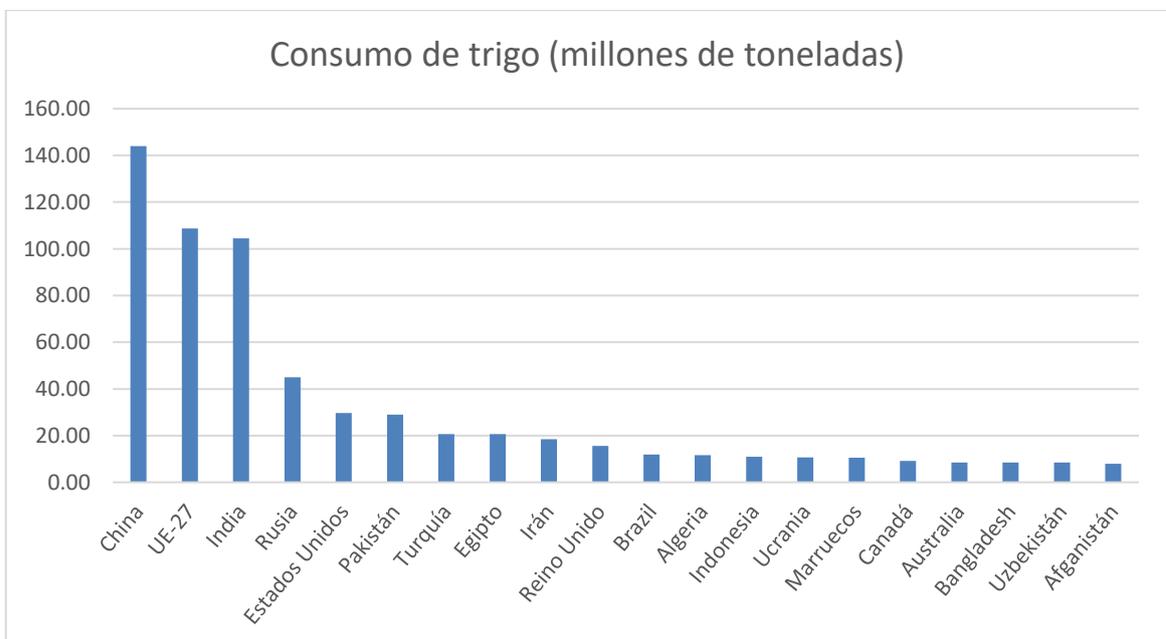


Figura 7. Consumo de trigo por país (ERS/USDA, 2022b)

China es el mayor productor y consumidor mundial de trigo, con unas cifras muy superiores en ambas categorías a las del segundo puesto. El gigante asiático, pese a producir alrededor 130 millones de toneladas de trigo al año, necesita importar entre 15 y 20 millones de toneladas adicionales para llegar a cubrir su demanda interna. Un caso similar es el del segundo país en nivel de producción, India, que con cerca de 105 millones de toneladas tampoco llega a cubrir su demanda interna. Ambos países asiáticos comparten una situación similar: son muy extensos en territorio y su tierra ofrece un buen rendimiento, pero su alta densidad de población compensa las dos ventajas anteriores, convirtiendo a ambos en importadores netos.

Los países integrantes de la Unión Europea siguen una suerte similar a los anteriores. Mientras que Francia y Alemania se encuentran dentro de los 10 mayores productores del mundo con 35 y 20 millones de toneladas, respectivamente, la Unión Europea es el tercer consumidor mundial con algo más de 100 millones de toneladas. Los dos siguientes serían Rusia y Estados Unidos, con un consumo de 44 y 30 millones de toneladas, respectivamente. Estos últimos dos países, además, son los dos mayores exportadores netos del mundo con 50 y 47 toneladas, respectivamente.

Ya pasados los cinco primeros puestos, otros importantes consumidores de trigo son los países de tradición árabe. Entre ellos destacan, en este orden, Pakistán, Turquía, Egipto, Irán, Argelia, Indonesia y Marruecos, que representan casi el 16% del consumo mundial. Cabe señalar tres últimos países, Canadá, Australia y Ucrania, que pese a encontrarse muy abajo en el listado de consumo doméstico, son los tres mayores exportadores mundiales tan solo por detrás de Rusia y Estados Unidos.

Capítulo 5. MODELADO DEL MERCADO DE TRIGO

Tomando como base los dos capítulos anteriores, se procederá a modelar el mercado del trigo. En primer lugar, se discutirán los indicadores seleccionados de la oferta y demanda, además de incluir sus funciones de respuesta al impulso (IRF) de cada uno para observar la respuesta de los precios del trigo. A continuación, se aplicará el modelo para realizar una descomposición histórica de los precios del trigo. Debido a la naturaleza anual de los datos, el retardo escogido para el modelo VAR será de dos ($p = 2$).

5.1 MODELADO DE LA OFERTA

En este apartado se describirá la función de la oferta para, a continuación, describir los indicadores que se utilizarán para desarrollar el modelo.

5.1.1 DESCOMPOSICIÓN DE LA FUNCIÓN DE OFERTA

La función de la oferta (*Supply*) del trigo es, en principio, sencilla. Se compone de dos valores: el remanente de la cosecha pasada (*BeginningStock*) y la producción de trigo de esa temporada (*Production*).

$$Supply = BeginningStock + Produccion$$

Por un lado, el remanente (*BeginningStock*) se obtiene directamente restando la demanda total (*Demand*) respecto a la oferta total del año pasado. A su vez, el remanente de la cosecha de un año coincide con el sobrante de la temporada pasada. Por lo que, si consideramos un año cualquiera t , podemos decir que:

$$BeginningStock(t) = EndingStock(t - 1) = Supply(t - 1) - Demand(t - 1)$$

Por el otro, la producción de trigo es mucho más difícil de estimar, ya que depende de valores futuros, muchos de ellos impredecibles. Para simplificar, podemos considerar que la

producción solo depende del área cosechada (*HarvestedArea*) y de la eficiencia por área cosechada (*Yield*). De esta forma:

$$Production = HarvestedArea * Yield$$

Por una parte, el área cosechada depende, lógicamente, del área sembrada (*PlantedArea*). El área sembrada, a su vez, está muy ligada a los programas del gobierno (*GovProg*) y la geopolítica (*GeoPol*). Debido a su naturaleza regional, estas dos variables no se incluirán en el modelo.

Por la otra, la eficiencia por área viene dada por varios factores. Algunos son humanos, como el precio de los fertilizantes (*FertilizerIndex*), el precio de los combustibles (*PetrolIndex*), y las ayudas y planificación de los gobiernos (*GovProg*). Por el contrario, otros son naturales, como la existencia de plagas (*Plagues*) y el clima (*Wheather*). Debido a lo difícil que es estimar los factores naturales, que tienen lugar en el futuro y afectan de forma desigual a las regiones productoras, se excluirán del estudio. Aun así, cabe señalar que las variables naturales afectan directamente a la eficiencia por área cosechada (*Yield*), y, por ende, a la producción de grano. Por su parte, las ayudas del gobierno también se descartarán por las implicaciones previamente mencionadas, por lo que nos queda:

$$Yield \leftarrow Production, FertilizerIndex, PetrolIndex$$

Dado que el remanente de cosecha (*BeginningStock*) está muy ligado a la producción, esta primera variable será desechada. De esta forma, podemos indicar todas las variables que rigen la función de la oferta:

$$Supply \leftarrow Production, HarvestedArea, FertilizerIndex, PetrolIndex$$

5.1.2 INDICADORES DE LA OFERTA

Tras explicar que variables afectan a la oferta del trigo, en la Tabla 2 se presenta su descripción y fuente. Estas variables quedan reflejadas en los indicadores de la oferta, que se exponen a continuación, además de las funciones impulso-respuesta correspondientes.

Tabla 1. Resumen de indicadores de la oferta

INDICADOR	VARIABLE	UNIDAD	FUENTE
Producción	<i>Production</i>	Tn, millones	FAO, 2022a
Área cosechada	<i>HarvestedArea</i>	ha, millones	FAO, 2022a
Precio de fertilizantes	<i>FertilizerIndex</i>	2010 USD/Tn	Banco Mundial, 2022c
Precio del petróleo	<i>PetrolIndex</i>	2010 USD/barril	Banco Mundial, 2022c

5.1.2.1 Producción (*Production*) y Área cosechada (*HarvestedArea*)

Por un lado, la producción anual de trigo es un buen indicador de la oferta de trigo que existe en el mercado. Por el otro, el área cosechada está íntimamente relacionada con el área plantada. Ambas son buenos instrumentos con los que relacionar las expectativas de precios y oferta total de los agentes del sector agrario. En este caso, los datos se han recogido de las estadísticas de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mejor conocida como FAO. La organización hace una estimación periódica de múltiples datos relacionados con la producción de cereales, entre los que se encuentra el trigo. Sus datos vienen dados en millones de toneladas de grano (Tn, millones) y millones de hectáreas métricas cosechadas (ha, millones), respectivamente.

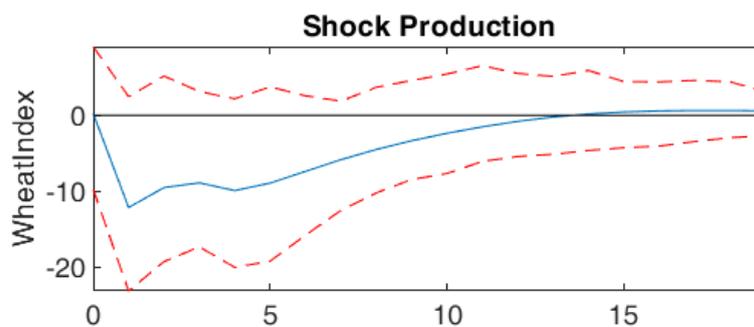


Figura 8. Respuesta de los precios del trigo a un shock en la producción

Como se puede observar en la Figura 8, el shock en la producción de trigo no tiene efecto instantáneo en los precios del cereal. Pese a que tarda un año en producirse, la caída de precios es muy notable. Tras ese punto, efecto del aumento de oferta comienza a disiparse, aunque a un ritmo muy lento (superior a los 10 años).

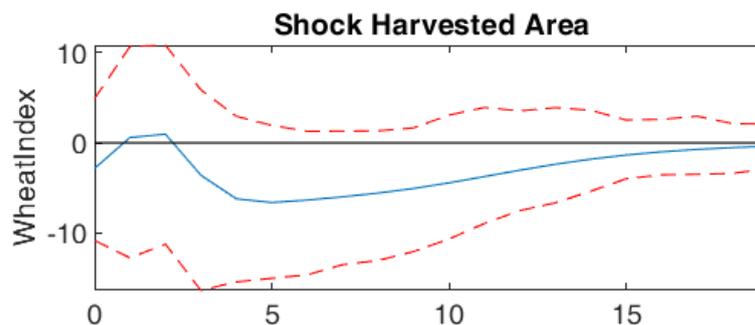


Figura 9. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el área cosechada

Por su parte, el efecto del shock en el área cosechada, como se muestra en la Figura 9, es muy diferente. El efecto del área es instantáneo, produciendo una bajada en los precios ese mismo año. Esto es lógico, ya que la producción es un dato que se obtiene a final de temporada y es “imprevisible”, mientras que el área cosechada está muy ligada al área cosechada, la cual es un dato controlable antes de la temporada. Curiosamente, el precio del trigo no sólo tarda en recuperarse, sino que tiene un repunte en el primer y segundo año. Esto podría tratarse de un error en la estimación, aunque requeriría una revisión más exhaustiva. Al igual que el shock en producción, el efecto de un aumento significativo en el área cosechada llega a afectar al trigo por un largo periodo de tiempo (más de 15 años).

5.1.2.2 Precio de los fertilizantes (*FertilizerIndex*)

Pese a que el trigo requiere de múltiples químicos para su correcto desarrollo, los principales entran en la categoría de fertilizantes NPK, es decir, los formados principalmente por nitrógeno, fósforo y/o potasio (ERS/USDA, 1995). Dado que el suelo cultivado varía dependiendo de la localización y las variedades de trigo tienen necesidades diferentes, es muy difícil estimar el peso que tiene cada fertilizante en la valoración del trigo. Debido a

esto, se incluirá en el estudio un índice compuesto por los fertilizantes más utilizados en la industria a nivel mundial:

- Roca fosfática (*PRockIndex*): alto en fósforo.
- Cloruro de potasio (*KClIndex*): alto en potasio.
- Superfosfato triple (*TSPIndex*): alto en potasio.
- Urea (*UreaIndex*): alto en nitrógeno.

Sus datos se han obtenido de la base de datos de commodities del Banco Mundial y su valor se mide en dólares americanos por tonelada métrica. Como todos los índices de la institución, los valores se encuentran reflejados según el poder adquisitivo del dólar en 2010 (2010 USD/Tn). Estos datos son agregados en un solo índice (*FertilizerIndex*) a través de una media ponderada según un Análisis de Componentes Principales. Por tanto, el *FertilizerIndex* refleja el comovimiento, o factor común, de los precios de dichos fertilizantes.

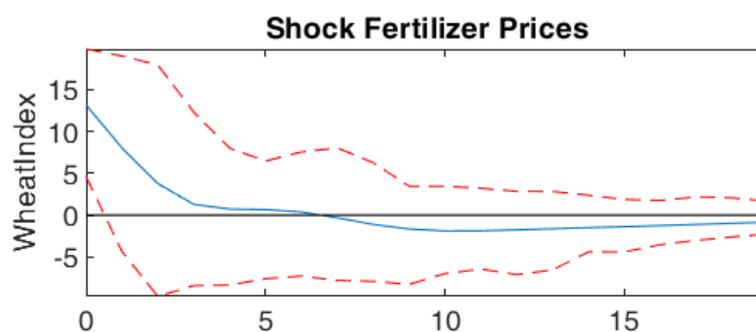


Figura 10. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el índice de fertilizantes

Como puede apreciarse en la Figura 10, la respuesta de los precios del trigo a un shock en el índice de los fertilizantes es muy intenso en el corto plazo, pero sus efectos se reducen notablemente tras los primeros 3 años. Esto se explica por una necesidad de los agricultores de absorber los costes y repercutirlos en el precio del cereal. Curiosamente, a partir del séptimo año, los precios del trigo caen ligeramente respecto a los del origen del shock. Esto podría deberse a una disminución de la demanda producida por la subida de precios de años

anteriores. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, el efecto del shock es significativamente apreciable solo en el corto plazo (menos de 5 años).

5.1.2.3 Precio del petróleo (*PetrolIndex*)

El precio de los combustibles afecta a toda la cadena productiva del trigo, desde su siembra hasta su transporte y procesado. En este caso se ha seleccionado un índice de precios realizado por el Banco Mundial llamado *Crude oil, average*, el cual se obtiene haciendo una media directa entre los tres barriles más comercializados: el UK Brent, el Dubai Fateh 32' y West Texas Intermediate 40' (WTI). El valor de este factor viene dado en dólares americanos por barril, estando los datos ajustados al poder adquisitivo de esta moneda en 2010 (2010 USD/barril).

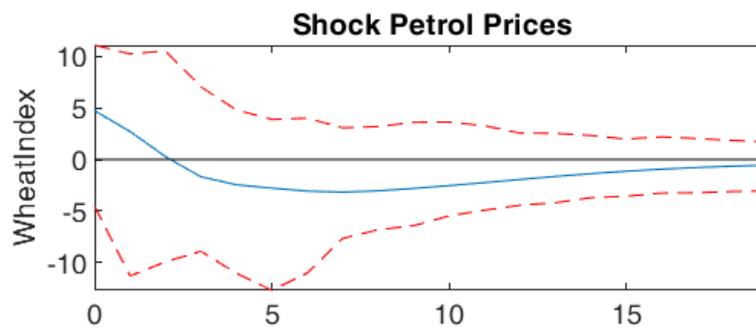


Figura 11. Respuesta de los precios del trigo a un shock en los precios del petróleo

Como se puede observar en la Figura 11, el shock en los precios del petróleo tiene una gran similitud con el de los fertilizantes. La gran diferencia entre ambos es que el efecto no muestra ser significativamente distinto de cero como en el caso de los fertilizantes y que el shock del petróleo tarda menos en reducir los precios del trigo (tan solo 3 años). De forma análoga, esto podría deberse a una bajada de la demanda debido al aumento de precios de años previos. Al igual que en todos los casos anteriores, el efecto del shock puede apreciarse en el largo plazo (más de 15 años).

5.2 **MODELADO DE LA DEMANDA**

De forma análoga a la oferta, en este apartado se describirá la función de la demanda para, a continuación, describir los indicadores que se utilizarán para desarrollar el modelo.

5.2.1 **DESCOMPOSICIÓN DE LA FUNCIÓN DE DEMANDA**

La función de la demanda de trigo (*Demand*) es mucho más sencilla que la de la oferta. Típicamente, esta se divide en cinco grupos: consumo humano (*Food*), consumo animal (*Feed*), semillas (*Seed*), industrial (*Industrial*) y otros (*Residual*) (Kenyon & Lucas, 1998; Meyer et al, 2016). Por tanto:

$$Demand = Food + Feed + Seed + Industrial + Residual$$

El consumo humano y animal superan el 90% de la demanda total, mientras que el uso industrial, simiente y residual apenas alcanzan el 8% restante (Madrigal et al., 2009). Debido a esto, estos tres últimos no se tomarán en consideración. Así:

$$Demand \approx Food + Feed$$

Por un lado, el consumo humano está estrechamente relacionado con la población mundial (*Population*) y la renta per cápita (*PerCapIncome*). Dado que estos valores presentan un cambio interanual muy pequeño, la cantidad de trigo destinado al consumo humano es fácil de estimar (Kenyon & Lucas, 1998).

Sin embargo, ya que el objetivo del modelo es explicar las fluctuaciones del precio del trigo, debemos considerar la baja elasticidad del precio de la demanda, definido por su dependencia en la población y renta per cápita. Al ser un producto de consumo básico, los cambios en el precio del trigo estarán principalmente determinados por la oferta, y no por la demanda, con la excepción de cambios significativos en los precios de los sustitutivos. Debido a ello, estos dos factores no serán utilizados como indicadores de la demanda.

También deberíamos tener en cuenta los subsidios del gobierno (*GovSubsidies*), pero como estos varían según la región, su estudio sería demasiado complejo. De esta forma:

$$Food \leftarrow Population, PerCapIncome$$

Por su parte, el consumo animal es muy variable debido a que depende del precio de los productos sustitutivos (*SubsIndex*), especialmente del maíz (*MaizeIndex*), que es el cereal más utilizado como pienso. Dado que los mercados internacionales de commodities funcionan en base al dólar americano, también se pensó en introducir una variable que midiera la fortaleza de esta moneda respecto a una cesta que incluyera las principales divisas internacionales (*USDIndex*). Finalmente, esto no tuvo lugar debido a que el índice utilizado, el DXY (TradingView, 2015), presentó problemas de combinación lineal con el resto de las variables, incluyendo los fertilizantes (*FertilizerIndex*), el petróleo (*PetrollIndex*) y los sustitutivos (*SusIndex*). Así:

$$Feed \leftarrow SubsIndex$$

De esta forma, podemos concretar que la función de demanda se rige exclusivamente por el precio de los sustitutivos:

$$Demand \leftarrow SubsIndex$$

5.2.2 INDICADORES DE LA DEMANDA

Tras explicar que variables afectan a la demanda del trigo, la Tabla 3 presenta su descripción y fuentes. Debido a los criterios seguidos en el apartado anterior, únicamente se incluirá un indicador, el precio de los sustitutivos (*SubsIndex*), junto a su correspondiente función impulso-respuesta asociada.

Tabla 2. Resumen de indicadores de la demanda

INDICADOR	VARIABLE	UNIDAD	FUENTE
-----------	----------	--------	--------

Precio de sustitutos	<i>SubsIndex</i>	2010 USD/Tn	Banco Mundial, 2022c
----------------------	------------------	-------------	----------------------

5.2.2.1 Precio de los sustitutos (*SubsIndex*)

No es sencillo establecer un indicador del precio de los cereales. La principal causa de ello es que el trigo no es una materia prima homogénea: existen decenas de variedades con precios, usos y comportamientos muy diferentes entre sí. De acuerdo con autores previos (Mohanty et al, 1999; Meyer et al., 2016; Gyarmati, 2017), tomaremos los precios de exportación de cereales de los EE. UU., en este caso los publicados en la base de datos del Banco Mundial (2022c).

Los cereales sustitutos que se incluirán en el estudio son el maíz (*MaizeIndex*), la cebada (*BarleyIndex*) y la soja (*SoyIndex*). El arroz no se incluirá en el modelo debido a que su comportamiento dista mucho del resto de cereales. Así:

$$SubsIndex \leftarrow MaizeIndex, BarleyIndex, SoyIndex$$

Estos datos, al igual que los fertilizantes, son agregados en un solo índice (*SubsIndex*) a través de una media ponderada según un Análisis de Componentes Principales. Por tanto, el *SubsIndex* refleja el comovimiento, o factor común, de los precios de dichos productos sustitutos.

Cabe indicar que los precios del trigo (*WheatIndex*) también se obtendrán de la misma fuente. Los datos de cada cereal vienen dados en dólares americanos por tonelada respecto a los precios del año 2010 (2010 USD/Tn).

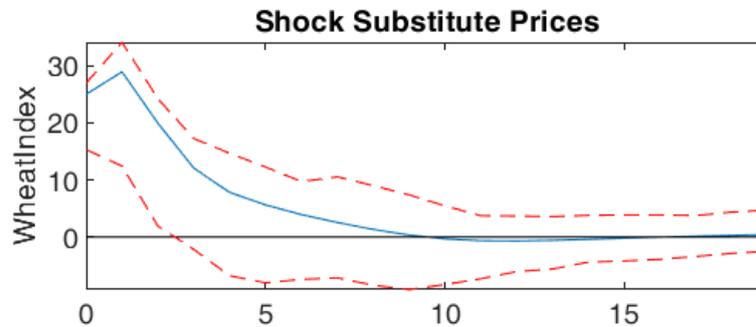


Figura 12. Respuesta de los precios del trigo a un shock en el índice de sustitutos

La imagen superior muestra el gran efecto que tienen los precios de los sustitutos en el corto y medio plazo. El efecto del shock es instantáneo, e, incluso, es mayor en el año posterior. Esto se debe probablemente a una expectativa de crecimiento en los precios de los cereales de cara al futuro. A partir de este punto, el efecto del shock se disipa bruscamente antes de los 5 años, cuando el efecto se vuelve mucho más tenue hasta desaparecer antes de los 10 años.

5.3 *DESCOMPOSICIÓN HISTÓRICA DEL PRECIO DEL TRIGO*

Empleando los indicadores descritos anteriormente, usaremos el modelo VAR para realizar una descomposición histórica del precio del trigo. Esta descomposición de precios se forma integrando los shocks descritos en el apartado anterior.

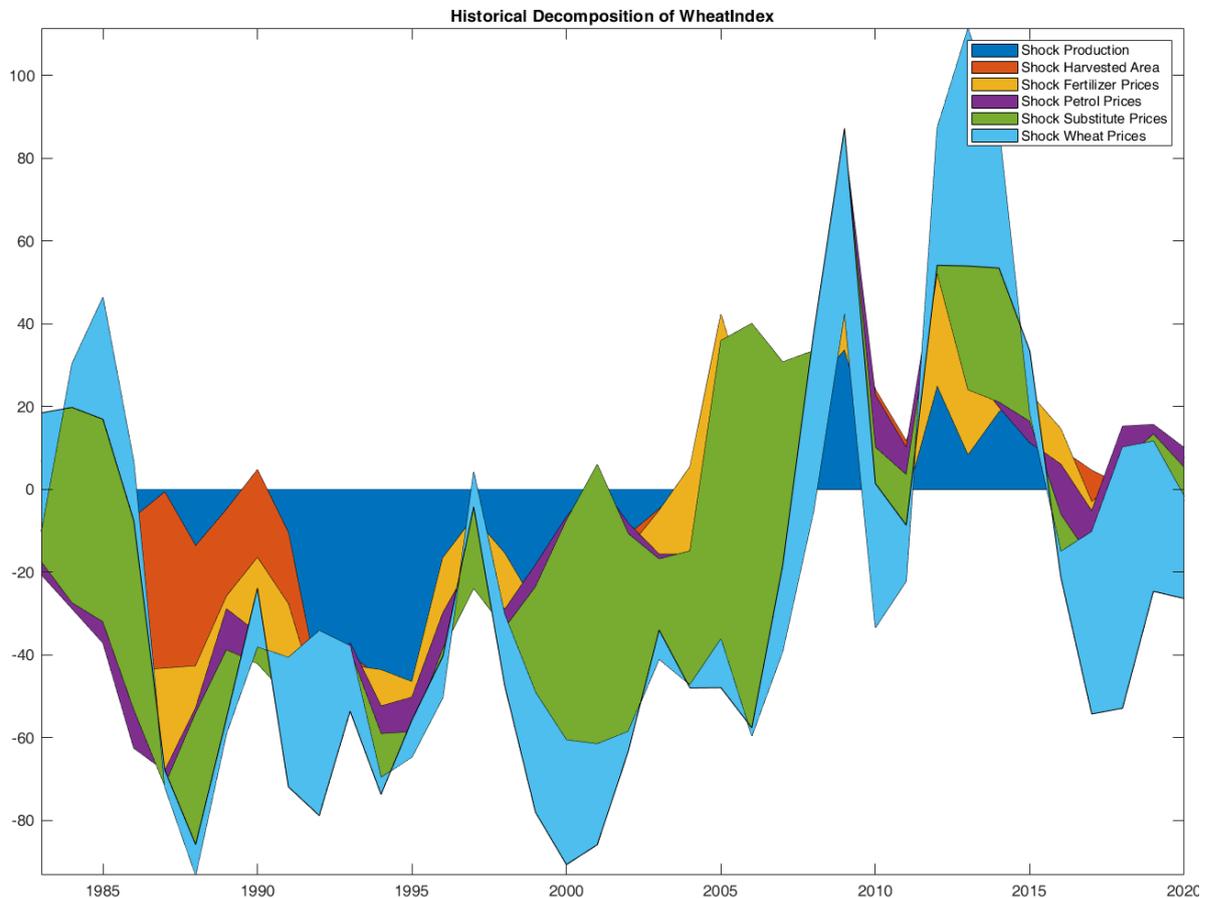


Figura 13. Descomposición histórica de los precios del trigo

Como se puede apreciar en la Figura 13, el peso de cada indicador en el precio del grano es muy desigual a lo largo de la muestra. En primer lugar, la producción de trigo, en azul oscuro, es de los indicadores que más peso tiene dentro de la descomposición. Cobra especial relevancia en la década de los 90 y, puntualmente, entre el 2008 y 2015. Por su parte, el área cosechada, en naranja, tiene una influencia mucho menor. Pese a que sí explica una gran parte del precio del cereal a finales de los 80, prácticamente no aparece de forma significativa en ningún otro punto del gráfico.

Por su parte, el shock de los fertilizantes, en amarillo, tiene un efecto muy consistente en el tiempo, pero no consigue explicar apenas los cambios de precio en el cereal. Cabe señalar que el petróleo, en morado, tiene un comportamiento muy similar. Para continuar, el índice

de sustitutivos, en verde, es, junto con la producción de grano, el indicador más importante de la descomposición. No solo es muy consistente en el tiempo, sino que es el índice principal a mediados de los 80 y desde finales de los 90 hasta el 2008.

Por último, quedaría hablar del shock del precio del trigo, en azul claro, que se interpreta como la variación en los precios del cereal que el resto de los indicadores utilizados no pueden llegar a explicar; es decir, el error, que cobra especial relevancia en el primer lustro de los 90, en las cercanías al año 2000, entre el 2008 y 2020. Cabe esperar que el shock del trigo tendría un peso mucho menor si se introdujeran en el modelo los shocks de los indicadores excluidos del modelo, como los subsidios, la planificación gubernamental o las condiciones geopolíticas.

Capítulo 6. CONCLUSIONES

En este estudio se ha explicado el funcionamiento del mercado del trigo, dejando a la vista la mayor parte de las variables que afectan a su precio. Por el lado de la oferta, se ha desarrollado el proceso de producción, transporte y almacenamiento del cereal. Este análisis ha dejado a la vista un importante número de factores esenciales para la valoración del trigo, algunos humanos y otros naturales. Respecto a los humanos, nos encontramos con el remanente de trigo de la temporada pasada, el área sembrada y el área no cosechada, el precio de los fertilizantes, el precio del petróleo, y las ayudas y planificación gubernamentales. Desde el punto de vista de los factores naturales, caben señalar las plagas y enfermedades, y el clima.

Por el lado de la demanda, se han estudiado los distintos usos que se le da al trigo. Estos son el consumo humano, el consumo animal, la simiente y el industrial. Dado que el consumo humano y animal abarcan alrededor del 90% de la demanda, los otros dos pierden importancia en la valoración del trigo. Por una parte, el grano destinado al consumo humano se transforma principalmente en panes y pastas. Esta parte de la demanda, muy ligada a la población y la renta per cápita, presenta una variación interanual muy baja. Por otra parte, el trigo destinado al consumo animal se transforma en piensos y su demanda interanual varía de forma significativa. Esto se debe a una mayor “racionalidad” de sus compradores, que prefieren utilizar los cereales más baratos (sustitutivos) del mercado para sus compuestos. Otros factores que tienen un gran peso en la oferta son los subsidios del gobierno, que son ayudas al consumo, y el peso del dólar americano, que es la moneda que rige el mercado de commodities a nivel internacional.

Ya revisados los factores de la oferta y demanda, se procedió a desarrollar el modelo VAR. En primer lugar, se hizo un análisis para determinar los indicadores más importantes y/o factibles para utilizar en el modelo. Después, se obtuvo la función impulso-respuesta asociada a cada indicador y se observó el efecto que producía cada una en el precio trigo.

Para finalizar, se integraron todas las funciones en la descomposición histórica. Pese a que muchos factores mencionados en el análisis previo no se llegaron a utilizar en el modelo, los indicadores seleccionados han resultado ser de gran utilidad en la descomposición de los precios del trigo, existiendo incluso periodos en los que la variación del precio del cereal ha sido explicada casi en su totalidad. Cabe señalar que la producción de trigo (*Production*) y el precio de los sustitutivos (*SubsIndex*) son los que mejor resultado obtienen. Por su parte, el precio del petróleo (*PetrolIndex*) y el índice de fertilizantes (*FertilizarIndex*) han tenido una importancia menor, aunque constante a lo largo de la muestra. Por último, el shock del área cosechada (*HarvestedArea*) ha tenido un efecto mixto: ha sido muy significativo, pero solo en un periodo concreto del histórico.

6.1 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Pese a los buenos resultados obtenidos, el error reflejado en la descomposición histórica indica que el modelo tiene cabida de mejora. En este apartado se recogen algunas ideas a desarrollar en futuros proyectos.

Muchos factores han sido descartados como indicadores debido a su carácter regional (y no global). Este es el caso de algunas variables del lado de la oferta, como la planificación y ayudas gubernamentales (*GovProg*), la situación geopolítica (*GeoPol*) o el clima (*Wheather*). Dado que introducir todas estas variables es virtualmente imposible, se recomienda focalizar los esfuerzos en las seis mayores regiones exportadoras (Estados Unidos, Rusia, Unión Europea, Argentina, Australia y Ucrania). Desde el lado de la demanda algunos factores también podrían regionalizarse y ser incluidos en futuros estudios, como es el caso de los subsidios del gobierno (*GovSubsidies*), que cobran especial importancia en los países con altos niveles de importación de grano, como Egipto.

Los precios de los cereales utilizados son los promedios de Estados Unidos, y no reflejan directamente el precio medio global. Si bien es cierto que históricamente muchos autores toman como referencia al país anglosajón (Mohanty et al, 1999; Meyer et al., 2016;

Gyarmati, 2017), este enfoque es, en la actualidad, muy limitado. Es por ello por lo que los autores (Mohanty et al, 1999) parecen apuntar a que son las seis mayores regiones exportadoras mencionadas en el párrafo anterior las que determinan en su conjunto el precio global. Es por ello por lo que la utilización de índices de precio globales, como el *Grains and Oilseeds Index* (GOI), son una buena opción de cara a futuros proyectos (IGC, 2022).

Un aumento de la muestra, ya sea incrementando el número de años o aumentando la frecuencia, mejoraría los resultados. El principal inconveniente de la granularidad es que una importante parte de las variables relacionadas con el cereal, como la producción (*Production*) o el área cosechada (*HarvestedArea*), son estacionales y no son fácilmente transformables. Si se consiguiera integrar estas variables, por ejemplo, de forma mensual, el número de muestras pasaría de 60 a 720, mejorando notablemente la fiabilidad del modelo.

Para concluir, se podría realizar un estudio de los cambios de precio en el trigo más fidedigno si se integraran factores y precios regionales.

Capítulo 7. REFERENCIAS

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2015, 8 octubre). *La agricultura y el cambio climático*. <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-2015/articulos/la-agricultura-y-el-cambio-climatico>
- Alonso, R. G. (7 de octubre de 2022). *Sembrar Trigo: Cómo, Cuándo y Dónde*. Sembrar100. <https://www.sembrar100.com/trigo/>
- Arias, A. S. (9 de julio de 2020). *Relación inversa entre el dólar y las materias primas*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/relacion-inversa-entre-dolar-materias-primas.html>
- Atchison, J., Head, L., & Gates, A. (2010). *Wheat as food, wheat as industrial substance; comparative geographies of transformation and mobility*. *Geoforum*, 41(2), 236-246.
- Banco Mundial. (2022a). *Cereal yield*. <https://data.worldbank.org/indicador/AG.YLD.CREL.KG>
- Banco Mundial. (2022b). *GDP per capita, PPP (current international \$)*. <https://data.worldbank.org/indicador/NY.GDP.PCAP.PP.CD>
- Banco Mundial. (2022c). *Commodity prices*. <https://www.worldbank.org/en/research/commodity-markets>
- Beas, J. B. (25 de octubre de 2021). *Trigo y cebada: almacenamiento y conservación*. ECO: Tierra de Diatomeas. <https://ecotierradediatomeas.es/trigo-y-cebada-almacenamiento-y-conservacion/>

Bushuk, W., & Rasper, V. F. (Eds.). (1994). *Wheat: production, properties and quality*.

Springer Science & Business Media.

Bushuk, W. (1986). *Wheat: chemistry and uses - Cereal foods world (USA)*.

Butler, S. (21 de marzo de 2022). *Egypt fixes price of bread as Ukraine war hits wheat supply*. The Guardian. <https://www.theguardian.com/world/2022/mar/21/egypt-fixes-price-of-unsubsidised-bread-as-ukraine-war-hits-wheat-supply>

Castañeda-Saucedo, M. C., López-Castañeda, C., Molina-Moreno, J., Colinas-León, T. B., & Livera-Hernández, A. (2004). *Crecimiento y desarrollo de cebada y trigo*. Revista fitotecnia mexicana, 27(2), 167-167.

Centro de Sanidad y Certificación Vegetal de Aragón. (2017). *Enfermedades en los cereales de invierno*. Dirección General de Alimentación y Fomento Agroalimentario.

https://www.aragon.es/documents/20127/674325/agma_cscv_itecnica_cerealesinvierno_2017.pdf/00f0c85a-1593-24b2-1083-0af565fd3cde

CME Group. (2018). *Producción, Uso y Transporte del Trigo*.

<https://www.cmegroup.com/es/education/learn-about-trading/courses/introduction-to-grains-and-oilseeds/wheat-production-use-and-transportation.html>

Comisión Europea. (20 de agosto de 2022). *Política agrícola común*.

https://agriculture.ec.europa.eu/common-agricultural-policy_es

Donley, A. (7 de abril de 2022). *USDA: War in Ukraine not the only reason for soaring prices*. World-Grain. <https://www.world-grain.com/articles/16737-usda-war-in-ukraine-not-the-only-reason-for-soaring-prices>

EFE. (27 de febrero de 2017). *Revelan el impacto negativo de la producción de una barra de pan*. <https://www.efc.com/efe/america/tecnologia/revelan-el-negativo-impacto-medioambiental-de-la-produccion-una-barra-pan/20000036-3192002>

Encyclopaedia Britannica. (12 de febrero de 2011). *Silage*. Encyclopaedia Britannica. <https://www.britannica.com/topic/silage>

ERS/USDA. (1994). *Distribution of Wheat Production Costs*. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/47116/51557_sb968c.pdf?v=0#:~:t=Using%20expected%20yields%2C%20the%20low,size%20classes%20of%20wheat%20acreage.

ERS/USDA. (1995). *Overview of Wheat Farming*. https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/47116/51556_sb968b.pdf?v=0

ERS/USDA. (2022a). *Wheat Data*. <https://www.ers.usda.gov/data-products/wheat-data/>

ERS/USDA. (2022b). *Wheat Domestic Consumption by Country in 1000 MT*. <https://www.indexmundi.com/agriculture/?commodity=wheat&graph=domestic-consumption>

ERS/USDA. (2022c). *Recent Trends in GE Adoption*. <https://www.ers.usda.gov/data-products/adoption-of-genetically-engineered-crops-in-the-u-s/recent-trends-in-ge-adoption/>

European Commission. (2022). *Genetically Modified Organisms*. https://food.ec.europa.eu/plants/genetically-modified-organisms_en

FAO. (1998). *Cosecha de trigo*. <https://www.fao.org/3/x5051s/x5051s02.htm>

- FAO. (2022a). *Crops and livestock products*. Production/Yield quantities of Wheat in World + (Total). <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- FAO. (2022b). *FAO Cereal Supply and Demand Brief*.
<https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/en/>
- FAOSTAT. (2021). *Fertilizers indicators*. <https://www.fao.org/faostat/en/>
- FEDNA. (2017). *Ensilado de Trigo*. Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal (FEDNA). <https://www.fundacionfedna.org/forrajes/ensilado-de-trigo>
- Flores, F. F. & Saluso, A. S. (27 de marzo de 2018). *Principales plagas que afectan el cultivo de trigo*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria de Argentina.
<https://inta.gob.ar/documentos/principales-plagas-que-afectan-el-cultivo-de-trigo>
- FAO. (2022). <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/crop-information/wheat/en/>
- Gyarmati, G. (2017). *On what factors the wheat production and price depends*. Management, Enterprise and Benchmarking in the 21st Century IV, 78-96.
- Heath, M. H. B. (8 de octubre de 2020). *Exclusive: Argentina first country to approve GMO wheat. U.S.* <https://www.reuters.com/article/uk-argentina-wheat-bioceres-exclusive-idUKKBN26S3D9>
- IGC. (2022). *IGC Grains and Oilseeds Index (GOI)*.
<http://www.igc.int/en/markets/marketinfo-goi.aspx>
- Igrejas, G. & Branlard, G. (2020). *The Importance of Wheat*. SpringerLink.
<https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-34163->

[3_1?error=cookies_not_supported&code=c8f8e384-b7c3-4164-8a18-7c944754c594](https://www.mapleridge.ca/1776/Food-Production)

John Basera & Tegwe Soko. (2016). *Wheat Production: A gentle production guide*. Seed Co Limited. <https://www.seedcogroup.com/media/blog/wheat-production-gentle-production-guide>

Kenyon, D. E., & Lucas, K. (1998). *Wheat Pricing Guide* (No. 1821-2016-147041).

Liefert, W. (2009). *The transmission of exchange rate changes to agricultural prices*. DIANE Publishing.

Maningat, C. C., Seib, P. A., Bassi, S. D., Woo, K. S., & Lasater, G. D. (2009). *Wheat starch: production, properties, modification and uses*. Starch (pp. 441-510). Academic Press.

Maple Ridge. (2015). *Environmental Impacts of Food Production*. <https://www.mapleridge.ca/1776/Food-Production>

Meyer, F., Traub, L. N., Davids, T., Kirimi, L., Gitau, R., Mpenda, Z., & Boulanger, P. (2016). *Modelling wheat and sugar markets in Eastern and Southern Africa*. https://renapri.org/wp-content/uploads/2021/11/eu_jrc_renapri_2016-1.pdf

Miller, T. (2000). *Estadios de crecimiento del cultivo de trigo*. Department of Soil and Crop Sciences, Texas A&M University

Mitchell, M. (octubre de 1999). *Nutrient Content of Fertilizer Materials*. Alabama A&M and Auburn Universities. <https://web.archive.org/web/20121224131002/http://www.caes.uga.edu/commoditie>

[s/fieldcrops/forages/events/SHC12/03+Fertilization+Outlook+for+Hay+Producers/
Nutrient+Content+of+Fertilizer+Materials.pdf](#)

Mohammed, E. A. (noviembre de 2015). *Akaike Information Criterion*. ScienceDirect.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128094792000020>

Mohanty, S., Meyers, W. H., & Smith, D. B. (1999). *A reexamination of price dynamics in the international wheat market*. Canadian Journal of Agricultural Economics/Revue canadienne d'agroeconomie, 47(1), 21-29.

Naciones Unidas. (2022). *Compact (Most Used Estimates and Medium Projections)*.

Department of Economic and Social Affairs - Population Division.

<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/MostUsed/>

OECD. (2022). *Trigo - Importadores de Trigo (2019 - 2020)*.

<https://oec.world/es/profile/hs/wheat>

Reuters. (21 de marzo de 2022). *Egyptian prime minister sets fixed price for unsubsidised*

bread. Reuters. <https://www.reuters.com/world/africa/egypts-prime-minister-sets-price-unsubsidized-bread-2022-03-21/>

Roser, M. (24 de noviembre de 2013). *Economic Growth*. Our World in Data.

<https://ourworldindata.org/economic-growth>

Shewry, P. R. (1999). *Technology of Cereals. An Introduction for Students of Food*

Science and Agriculture, NL Kent and AD Evers. Plant Growth Regulation, 28(1), 74.

The Hightower Report. (2022). *World Wheat – Ending Stocks*. The Hightower Report

(267.822). <https://www.cmegroup.com/trading/agricultural/wheat-reports.html>

TradingView. (2015). *Gráfico índice USD: Cotizaciones del DXY*.

<https://es.tradingview.com/symbols/TVC-DXY/>

Traxco S.A. (2017, 19 marzo). *Cultivo de trigo – Indicaciones para mejorar su*

rendimiento. <https://www.traxco.es/blog/produccion-agricola/cultivo-de-trigo>

Universidad Católica de Chile. (2014). *Crecimiento y Desarrollo de la Planta de Trigo*.

http://www7.uc.cl/sw_educ/cultivos/cereales/trigo.htm

U.S. Congress. (1996). *Federal Agriculture Improvement and Reform Act of 1996*. U.S.

Congress PUBLIC LAW 104–127.

<https://www.congress.gov/104/plaws/publ127/PLAW-104publ127.pdf>

U.S. Wheat Associates. (2022). *World Wheat Supply and Demand Situation*.

https://www.uswheat.org/wp-content/uploads/SD_221012-2.pdf

Wikipedia. (25 de octubre de 2022). *Caída de los precios del petróleo en los años 2010*.

Wikipedia, la enciclopedia libre.

https://es.wikipedia.org/wiki/Ca%CC%ADda_de_los_precios_del_petr%C3%B3leo_en_los_a%C3%B1os_2010

Yahoo Finance. (2022). *US Dollar/USDX - Index - Cash (DX-Y.NYB)*.

<https://finance.yahoo.com/quote/DX->

[Y.NYB/history?period1=31795200&period2=1666742400&interval=1mo&filter=history&frequency=1mo&includeAdjustedClose=true](https://finance.yahoo.com/quote/DX-Y.NYB/history?period1=31795200&period2=1666742400&interval=1mo&filter=history&frequency=1mo&includeAdjustedClose=true)