



---

**Universidad de Valladolid**  
**Facultad de Ciencias**  
**Económicas y Empresariales**

**Trabajo de Fin de Grado**

**Grado en Administración y Dirección  
de Empresas**

**Dinámica de Sistemas aplicada  
a la Industria Azucarera**

Presentado por:

***Enrique Martín Martín***

Valladolid, 11 de 07 de 2024

## **RESUMEN.**

La industria azucarera es uno de los sectores alimentarios más importantes a nivel mundial. El azúcar es un producto básico que se utiliza para producir una amplia variedad de productos alimentarios y bebidas.

Históricamente, este sector ha sufrido fluctuaciones a lo largo de los años debido a varios factores, como las políticas agrarias, las demandas de mercado, las condiciones climáticas o las variaciones en los precios.

Este trabajo va a consistir en el estudio de la producción de remolacha en España en función de la superficie donde se plante, superficie de secano o regadío, y el proceso de transformación que soporta hasta su posterior venta. Finalmente, se estudiará como una plaga puede condicionar esta industria.

Palabras clave: Industria Azucarera, superficie secano, superficie regadío, remolacha, azúcar, Dinámica de Sistemas.

## **ABSTRACT.**

The Sugar Industry is one of the most important food sectors worldwide. Sugar is a basic product that is used to produce a wide variety of food and drinks.

Historically, this sector has suffered fluctuations over the years due to several factors, such as agricultural policies, market demands, climatic conditions or variations in prices.

This work will consist of studying beet production in Spain depending on the surface where it is planted, dry or irrigated surface, and the process of transformation that it supports until its subsequent sale. Finally, it will be studied how a pest can condition this Industry.

Keywords: Sugar Industry, dry surface, irrigated surface, beet, sugar, System Dynamics.

## Tabla de contenido

<b>RESUMEN.....</b>	<b>2</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>2</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>5</b>
<b>2. INDUSTRIA AZUCARERA .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Historia del azúcar .....</b>	<b>6</b>
2.2 El azúcar en la actualidad.....	8
2.3 La expansión de la remolacha .....	8
<b>3. DINÁMICA DE SISTEMAS .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Origen histórico .....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Introducción .....</b>	<b>10</b>
<b>3.3 Elementos de la Dinámica de Sistemas .....</b>	<b>10</b>
3.3.1 Diagrama causal.....	11
3.3.2 Diagrama de Forrester .....	13
<b>4. EVOLUCIÓN DINÁMICA DEL MODELO .....</b>	<b>15</b>
<b>4.1 Hipótesis del modelo .....</b>	<b>15</b>
<b>4.2 Variables del modelo .....</b>	<b>18</b>
<b>4.3 Diagrama de Forrester .....</b>	<b>20</b>
<b>4.4 Análisis de la evolución.....</b>	<b>22</b>
<b>5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO.....</b>	<b>25</b>
<b>6. CONCLUSIONES .....</b>	<b>27</b>
<b>7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>29</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1. Clasificación de las variables del modelo.....	11
--	----

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 4.1. Evolución de la Producción total y Ventas Finales .....	22
Gráfico 4.2. Evolución de la Producción de Secano.....	22
Gráfico 4.3. Evolución de Producción de Secano, Regadío y Total.....	23
Gráfico 4.4. Evolución de Ganancias de Secano y Regadío.....	24
Gráfico 4.5. Evolución de Ganancias de Mayoristas.....	24
Gráfico 4.6. Evolución de Pérdidas en el Proceso.....	25
Gráfico 5.1. Evolución de la Producción en función de la plaga.....	26
Gráfico 5.2. Evolución de las Ganancias de secano y regadío en función de la plaga....	26
Gráfico 5.3. Evolución de las Ganancias mayoristas en función de la plaga.....	27

## 1. INTRODUCCIÓN

La Real Academia Española define azúcar como un cuerpo cristalizado que tiene características sólidas y apariencia blanca. Esta sustancia forma parte de los hidratos de carbono, es soluble en agua y tiene un sabor dulce.

Según Pérez Porto y Gardey (2023) es un alimento imprescindible para garantizar el buen funcionamiento de nuestro organismo, siempre que no sea excesivo el consumo. Esta es una fuente de energía para diversas partes de cuerpo humano como por ejemplo el cerebro y los músculos. Según Ignacio Álvarez (2020), una de las principales características del azúcar es su rápida transformación de sacarosa a glucosa y fructosa, lo que facilita la absorción de proteínas ayudando a conciliar el sueño y al crecimiento de los tejidos.

La OMS ha recomendado tener una ingesta calórica diaria de 25 gramos para una persona adulta que posee un peso corporal normal (5% de calorías consumidas diariamente).

Por otra parte, existen consecuencias negativas que conlleva el exceso en el consumo del azúcar. Cuando una persona consume constantemente más azúcar de lo recomendado, empieza a acumular glucosa en el cuerpo. La insulina producida por el cuerpo no es capaz de regular los niveles de azúcar en sangre.

Según Pereira (2023), algunas consecuencias que suelen aparecer en las personas por tener una mala alimentación son, por ejemplo: Incremento de peso, deterioro de la zona bucal incluyendo dientes y muelas, la adicción que puede generar con sus correspondientes problemas metabólicos y la aparición de enfermedades cardíacas y tensión alta.

Esta última consecuencia genera serios problemas a la gente de mayor edad aunque, en general, toda la población está expuesta a estos problemas si no controlan la cantidad de azúcar que ingieren al día.

Por lo tanto, el azúcar es una sustancia relevante en la población. La cantidad que consume diariamente una persona va a determinar en mayor medida su calidad de vida. Tener un conocimiento básico general sobre este producto tan demandado es primordial. El presente trabajo tiene como objetivo realizar un estudio sobre la

Industria azucarera. Actualmente el azúcar es un alimento que se consume mundialmente y que no pasa desapercibido. Así, después de esta introducción, en el capítulo 2 se describirá como se originó y se expandió el azúcar. También se hablará de la remolacha como producto. En el capítulo 3 se va a describir la Dinámica de Sistemas, que es la metodología que se utilizará para realizar este estudio. A continuación, en el capítulo 4 se construirá un modelo que simulará la evolución de la producción de remolacha. En el capítulo 5 se hará un análisis de sensibilidad del modelo. Finalmente, en el capítulo 6 se establecerán las conclusiones del trabajo.

## **2. INDUSTRIA AZUCARERA**

### **2.1 Historia del azúcar**

Hace cientos de años, el único indicador de tenían nuestros antepasados para reconocer si un alimento era comestible o no eran las papilas gustativas.

Según la página Zafrán (2024), cuando querían descubrir si un alimento se podía ingerir, lo probaban y se daban cuenta de si era un alimento amargo o no. En tal caso los podía llevar a pensar que era peligroso comérselo. Sin embargo, también podía saber dulce, lo que significaba que este alimento contenía azúcar en su interior.

Como muchos alimentos a lo largo de su historia, el azúcar también ha sufrido cambios desde el primer contacto que tuvo con la raza humana hasta hoy en día. Algunos apuestan por el descubrimiento de azúcar en Nueva Guinea, mientras que otros dicen en Polinesia, pero sin fecha exacta.

Según la información aportada por la página web Making sense of sugar (2024), el azúcar se expandió hasta la India para su comercialización hasta su invasión por las tropas persas. Ya en la Edad Media, en el siglo VII, los persas fueron atacados y conquistados por el pueblo árabe. Esta civilización comenzó a descubrir los secretos del azúcar para posteriormente expandir su producción, al mismo tiempo que iban conquistando territorios como España o el norte de África.

En esta época, era un producto escaso al alcance de pocas personas debido a su alto coste, ya que se trataba de un bien de lujo. Solo la clase social alta se podía permitir tener una especia como el azúcar en sus hogares o territorios.

Durante toda la Edad Media se siguió comercializando por Europa y África hasta el siglo XV.

Ya en el año 1493 Cristóbal Colón, en su segundo viaje a América, comenzó a transportar cañas de azúcar en vez del azúcar como producto alimentario, porque había dificultades para mantener fresco el producto en su estado final. Estas cañas fueron plantadas en el Caribe, principalmente por el buen clima que presenta durante todo el año. Y el rápido crecimiento en estas tierras significó un gran cambio sobre la producción de esta materia.

Durante la Edad Moderna se buscaron métodos o nuevas formas de extraer más bienes para tener una mayor producción. Además, en el siglo XVI la industria azucarera consiguió superar los registros de la apicultura de Europa (hasta ese momento, la miel se consideraba el endulzante de los alimentos). Se habían dado cuenta de que el azúcar era un producto del cual se podría sacar un gran rendimiento y era considerada una de las grandes industrias en aquel momento. Otro paso importante en su evolución fue que se empezó a obtener azúcar de las remolachas en el 1747, y ya no solo a través de las cañas que se importaban al territorio.

En el siglo XVIII se consiguió pleno acceso al azúcar pudiendo realizar distintas actividades lucrativas como, por ejemplo: la plantación, la comercialización, la negociación o cualquier otra actividad asociada.

Existe la teoría de que, durante el proceso de expansión del azúcar, surgiese el capitalismo moderno. Se sabe que hubo mucha gente, en especial niños, que fueron obligados a trabajar en los campos, ya que de otra forma no hubiera sido posible mantener un nivel de producción alto en aquella época.

Fue ya a mediados del siglo XIX cuando la industria azucarera fue considerada una de las grandes potencias de la industria alimenticia en el mundo, hasta la actualidad.

## **2.2 El azúcar en la actualidad**

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), lo que conocemos hoy en día como azúcar también puede ser llamado azúcar de mesa o azúcar común. Como se ha comentado anteriormente, existen dos materias primas de las cuales se obtiene el azúcar, que son: la remolacha y la caña de azúcar.

Otras características que tiene este producto son el grado de refinamiento y el color. El refinamiento se detecta en función de la cantidad de sacarosa que se ha retirado. En función de esa variable conseguimos tener como productos finales el azúcar blanco, el azúcar moreno o el azúcar rubio. Este producto final es vital para darle dulzor a los alimentos comestibles o bebidas energéticas y gaseosas.

Actualmente el azúcar sigue siendo un producto de primera necesidad. Sin embargo, el negocio de las industrias azucareras genera un impacto negativo principalmente en las personas, por el consumo, y en el ecosistema, debido a la cantidad de restos de plástico o cartón que origina. Según Martínez (2024), como la oferta de producción está siendo superior a la demanda, esta situación incentiva al consumo de mayores cantidades de azúcar por persona. Esto se traduce en un aumento de número de casos de diabetes en las sociedades que consumen este producto de forma habitual.

En países de América como Estados Unidos, la venta de productos con azúcares es superior que en la mayoría de los países del mundo. No es una sorpresa, pues, que surjan más casos de personas con diabetes en este país en los próximos años.

## **2.3 La expansión de la remolacha**

Dentro del sector del azúcar nos vamos a enfocar en la remolacha. Se espera que este producto sea más eficiente que la caña de azúcar: según la página web de KWS, existe un aumento de productividad de la remolacha en los campos 5 veces mayor al de caña de azúcar. Esto se puede conseguir mejorando el uso de los recursos de los que disponen en el campo para contribuir en maximizar la eficiencia de la producción de la remolacha.

Según el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, la planta de la remolacha tarda en desarrollarse dos años aproximadamente. Un año después del sembrado la remolacha se puede recoger porque tendrá ya los nutrientes necesarios para producir azúcar.

Sin embargo, si no se recoge después de la vernalización esta planta empezará a florecer y producir semillas.

En conclusión, esta planta tiene un ciclo bianual, pero para obtener azúcar solo tenemos que esperar 1 año para poder recolectar las remolachas.

Se recomienda sembrar entre 100.000 y 120.000 plantas/ha en los campos.

Enfocándonos en España, hay dos zonas que se diferencian por el momento en el que se siembra y se cosecha: En primavera, se siembra en superficies del norte como en las comunidades autónomas de Castilla y León, La Rioja, País Vasco, Navarra y Aragón. Se utiliza el sistema de regadío para estas zonas. Todo lo que se cultiva en esta época en el norte representa el 75% de remolacha de toda España.

En otoño es justo todo lo contrario: se siembra en la zona sur de España. Toda Andalucía está involucrada en esta actividad (principalmente Cádiz y Sevilla). En esta época del año existen dos formas de cultivar la remolacha. El 70% sigue siendo mediante el régimen de regadío, pero el otro 30% pertenece al régimen de secano. El total de toda la remolacha sembrada en el sur en otoño constituye el 25% restante de producción de España.

Otra de las características de esta planta es la dimensión económica que llega a alcanzar a nivel nacional. La producción de remolacha genera un valor que representa aproximadamente el 0,2% de la producción de la Rama Agraria y el 0,3% de la Producción Final Vegetal. Este valor se ha calculado para los últimos 4 años.

Otro tema importante que se debe tener en cuenta es la superficie, producción y explotación de la remolacha azucarera.

Para analizar y comparar estos datos hay que saber distinguir entre un año natural y una campaña de comercialización entre el 1 de octubre y el 30 de septiembre del siguiente año.

### **3. DINÁMICA DE SISTEMAS**

#### **3.1 Origen histórico**

Según lo publicado por Aracil (1983), una empresa electrónica durante los años 50 encargó que se hiciera un proyecto dando como resultado el descubrimiento de la dinámica de sistemas. Los investigadores se percataron de la existencia de fluctuaciones en algunos medios con componentes electrónicos. Se hicieron análisis y llegaron a la conclusión de que existían modificaciones producidas por la combinación de estructuras de realimentación y se producían fluctuaciones debido a los retrasos de transmisión existentes. Jay W. Forrester propuso transformar esta dinámica en una metodología para solucionar problemas similares o incluso más complejos en el futuro. La dinámica de sistemas que conocemos hoy en día es el resultado de la evolución que esta metodología ha experimentado a lo largo de los años trasladándose a otras áreas de la vida.

#### **3.2 Introducción**

La dinámica de Sistemas es una metodología cuya finalidad es la construcción de modelos que expliquen comportamientos de la vida real. Según Aracil (1995), es importante definir qué entendemos por sistema. Un sistema es un conjunto de partes interrelacionadas entre sí, del cual queremos conocer su comportamiento global.

#### **3.3 Elementos de la Dinámica de Sistemas**

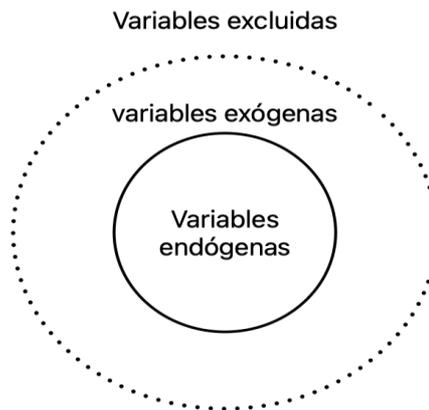
La dinámica de sistemas es un prototipo de un sistema real representado de forma abstracta. Está compuesto por elementos cuya interrelación entre sí da sentido al modelo, conforme Aracil (1983).

En estos modelos existen dos tipos de variables:

-Variables endógenas: Describen los efectos sobre el sistema susceptibles de ser modificados desde el exterior.

-Variables exógenas: Representan los elementos cuyo comportamiento está totalmente determinado por la estructura del sistema.

**Figura 3.1. Clasificación de las variables del modelo**



Fuente: Elaboración propia a partir de Aracil (1983)

### 3.3.1 Diagrama causal

Según Aracil (1983), podemos decir que el diagrama causal es el encargado de recoger las relaciones entre cada par de variables, aunque no contiene información cuantitativa sobre la naturaleza de dichas relaciones.

Suponiendo dos variables del sistema, si X influye en Y, se dice que X es la variable causa y Y la variable efecto.

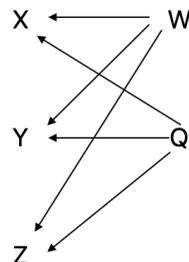


Las relaciones causa-efecto pueden ser tanto positivas como negativas. Son positivas cuando la variación que experimentan las dos variables tiene el mismo sentido. Sin embargo, son negativas cuando la variación tiene sentido contrario. La relación se representa con un signo + ó – sobre la flecha correspondiente.

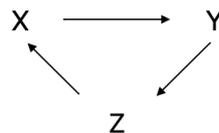


Los diagramas causales también pueden tener diferentes estructuras. Existen dos clases de estructuras conocidas:

-Sistemas de estructura causal simple: son aquellos que no poseen cadenas cerradas y donde unas variables actúan sobre las otras sin que se produzca ningún tipo de interacción entre ellas.

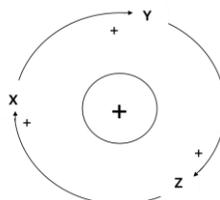


-Sistemas de estructura causal compleja: son aquellos que poseen cadenas cerradas de relaciones causa-efecto denominadas ciclos de retroalimentación o bucles. En este caso es posible volver a la variable inicial gracias a las relaciones causa-efecto.



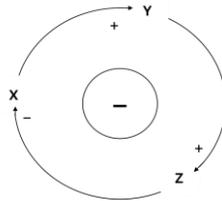
Como anteriormente hemos mencionado, en los diagramas causales, en función de la relación causa-efecto de las variables, aparecen bucles de retroalimentación. Pueden ser de dos tipos:

-Bucles de retroalimentación positiva: son aquellos en los que la variación de un elemento se propaga a lo largo del bucle de manera que se refuerza la variación inicial. Se caracterizan porque el número de relaciones causa-efecto negativas es par o nulo (Aracil, 1983).



-Bucles de retroalimentación negativa: son aquellos en los que la variación de un elemento se transmite a lo largo del bucle de manera que determina una variación de signo contrario en el mismo elemento, es decir, se contrarresta la variación

inicial. Se caracterizan porque el número de relaciones causa-efecto negativas es impar (Aracil, 1983).



Un diagrama causal con bucles de retroalimentación positiva y negativa donde existe una interacción entre ellos determinará el comportamiento global del sistema. Este, dependerá de que bucles son dominantes en cada momento.

### 3.3.2 Diagrama de Forrester

Este diagrama se obtiene a partir de un diagrama causal previo. Los nodos del diagrama causal son clasificados en variables de nivel, de flujo o auxiliares, asociando un icono específico para cada tipo, según Aracil y Gordillo (1997). Para poder crear el diagrama de Forrester es imprescindible que haya realimentación en el sistema.

La unión de las variables en este diagrama se realiza a través de dos tipos de canales:

Canales materiales: Aquellos que transmiten unidades de materia entre las variables. Se representa por una línea continua:



Canales de información: Aquellos que transmiten información entre las variables. Se representa por una línea discontinua:

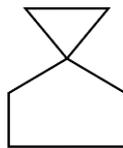


Una vez sabido esto las principales variables se representan así:

Variables de nivel: Son aquellas cuya evolución es significativa para el estudio del sistema. Representan depósitos en los que se acumula materia.



Variables de flujo: son aquellas que determinan la variación de los niveles introduciendo o extrayendo materia de estos. Si la materia es introducida se denomina *flujo de entrada* y si es extraída, *flujo de salida*.



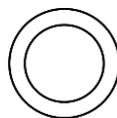
Variables auxiliares: estas representan etapas intermedias en la determinación de los valores de los flujos a partir del valor de los niveles.

También pueden recibir información desde cualquier variable del diagrama de Forrester, incluso de otras variables auxiliares, aunque frecuentemente se trata de niveles, y envían información a uno o varios flujos o variables auxiliares.



En este modelo existen otros elementos menos importantes, pero que también forman parte de este, que son:

Variables exógenas: están determinadas fuera del sistema, representando una acción del medio sobre éste e influyendo sobre él. Pueden variar con el tiempo.



Constantes: son elementos invariantes del sistema. No se modifican con el tiempo.



Nubes: son una fuente de materia infinita para el sistema. Constituyen el comienzo y final de los canales materiales cuando la materia no proceda o no vaya a un nivel.



## 4. EVOLUCIÓN DINÁMICA DEL MODELO

### 4.1 Hipótesis del modelo

Para elaborar este modelo debemos plantear algunas hipótesis para poder desarrollarlo.

Se ha consultado el Anuario de Estadística de 2023 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Este informe nos permite observar los datos sobre el cultivo industrial de la remolacha azucarera de esta última década.

Para realizar este estudio hemos necesitado algunas variables para analizar niveles, como la producción de la remolacha, el azúcar refinado o los mayoristas del sector. Cuando vayamos a analizar la producción de remolacha lo vamos a hacer en función de la clase de superficie donde se cosecha.

Las principales hipótesis son:

- Periodo de estudio: desde 2012 hasta 2022. Son 11 años.
- La unidad de tiempo que se ha usado ha sido el año.
- La producción de la remolacha está calculada en miles de toneladas al igual que el azúcar refinado.
  
- Para el nivel Producción de Secano:
  - El valor inicial de la Producción de Secano que hemos introducido es de 731,31 miles de toneladas. Este valor lo hemos calculado haciendo la media de la producción total de remolacha en el periodo 2012-2022 que hemos establecido. En España solo se produce un 25% de la producción total de remolacha en secano, por lo que aplicamos este porcentaje a la media de producción total de remolacha.
  - Para las entradas de secano hemos incorporado una variable que hemos llamado precipitaciones y le hemos asignado valores aleatorios influyendo en la producción de Secano.

- Otra variable que hemos añadido para la entrada es la enmienda del suelo, que consiste en una serie de medidas para mejorar el terreno de cultivo. Hemos supuesto que cada año hay una mejora del 1% constante y otra mejora del 0,5% adicional cada año que transcurre.
  - Un flujo de salida de la Producción de Secano son las pérdidas por rendimiento de Secano. Estas se calculan multiplicando el valor obtenido por un porcentaje que se estima en un 35%, que es lo que suponemos que es la pérdida de rendimiento de remolacha de los últimos años (Noticias de Álava, 2023).
  - Una de las variables auxiliares es la Ganancia neta de secano. Este valor se calcula multiplicando la producción obtenida por el precio, que está calculado para mil toneladas. Para el secano es de 35700€. Además, para calcular la ganancia hay que retirar un 12%, que es el impuesto de las remolachas en España.
  - Como hemos supuesto unas pérdidas del 35%, el otro 65% restante pasa al siguiente nivel, que es el azúcar refinado.
- Para el nivel Producción de Regadío:
    - En el caso de la Producción de Regadío el valor inicial que hemos utilizado de 2193,95 miles de toneladas, que supone el 75% de la media de producción de remolacha de 2012-2022 en España cultivada en regadío.
    - Para las entradas hemos añadido la enmienda del suelo, que consiste en una serie de medidas para mejorar el terreno. También hemos supuesto que cada año hay una mejora del 1% constante y otra mejora del 0,5% adicional cada año que transcurre.
    - Un flujo de salida de la Producción de Regadío son las pérdidas por rendimiento de Regadío. Estas se calculan multiplicando el porcentaje estimado en un 35%, que es lo que suponemos que es la pérdida de rendimiento de remolacha de los últimos años.

- Una de las variables auxiliares es la Ganancia neta de regadío. Este valor se calcula multiplicando la producción obtenida por el precio, que está calculado para mil toneladas. Para el secano es de 35700€. Asimismo, para calcular la ganancia hay que retirar un 12%, que es el impuesto de las remolachas en España.
- Como hemos supuesto unas pérdidas del 35%, el otro 65% restante pasa al siguiente nivel, que es el azúcar refinado.
- Por último, tenemos una variable auxiliar llamada Producción total. En ella, se recoge cada año la suma de la producción anual de secano y regadío.
- Para el nivel Azúcar refinado:
  - Los flujos de salida que tiene este nivel son: La melaza, el bioetanol, la remolacha sin refinar, la pulpa y las ventas a mayoristas.
  - Hemos supuesto que cuando la remolacha llega a este nivel se transforma en otros productos en un determinado porcentaje. En este caso, melaza el 4%, pulpa el 5%, bioetanol el 5%, el 20% se mantiene remolacha y el azúcar es el 66% restante.
  - El flujo de salida representa el azúcar que se vende a los mayoristas.
- Para el nivel Mayoristas:
  - Al igual que en el nivel anterior, el flujo de salida de uno es flujo de entrada del otro. Por eso nos sirven los valores obtenidos previamente.
  - En este nivel solo existe un flujo de salida, que son las ventas finales. Como hemos supuesto que no existe ninguna pérdida ni deterioro, todo lo que se compra a la refinería se va a vender a los consumidores finales.
  - Hay que añadir que para este nivel hay una variable que es la ganancia neta mayorista. Esta se calcula multiplicando el precio por tonelada por el número de toneladas de azúcar. La media de la última década está en torno a 1200€ por tonelada, según la página de

Statista. Como el azúcar refinado tiene un impuesto del 10%, a todas las ganancias de los mayoristas hay que restarles ese porcentaje.

## 4.2 Variables del modelo

Lo siguiente que tenemos que hacer es definir las variables de nuestro modelo y la información que obtendremos de las mismas.

En este modelo existen varios niveles, flujos de entrada, flujos de salida, variables auxiliares y constantes.

- Producción Secano: es un nivel principal. En él se calculan las miles de toneladas de remolacha cultivadas en una superficie de secano. Los flujos de entrada, flujos de salida y variables auxiliares de este nivel son:
  - *Entradas Secano*: flujo de entrada del nivel Producción Secano. Se alimenta por *la enmienda del suelo*, que se trata de una variable auxiliar que produce una mejora en la producción de remolachas de superficie secano. Las *Precipitaciones* es otra variable auxiliar que alimenta al flujo de entrada de secano. Hemos supuesto que existe una variabilidad del clima por lo que la hemos modelado con una variable aleatoria.
  - *Salidas Secano*: flujo de salida para el nivel *Producción Secano*, alimentado por el nivel Producción Secano con el 65% de la producción obtenida de remolacha.
  - *Perdida por rendimiento Secano*: flujo de salida para el nivel Producción Secano, alimentado por la constante *% pérdidas de rendimiento Secano*, que suponemos es un 35%.
  - *Ganancias netas Secano*: es una variable auxiliar. Está alimentada por el nivel *Producción Secano* y por la constante *Precio por miles de toneladas Secano*.
  
- Producción Regadío: es un nivel principal. En él se calculan las miles de toneladas de remolacha cultivadas en una superficie de regadío. Los flujos de

entrada y de salida de este nivel son:

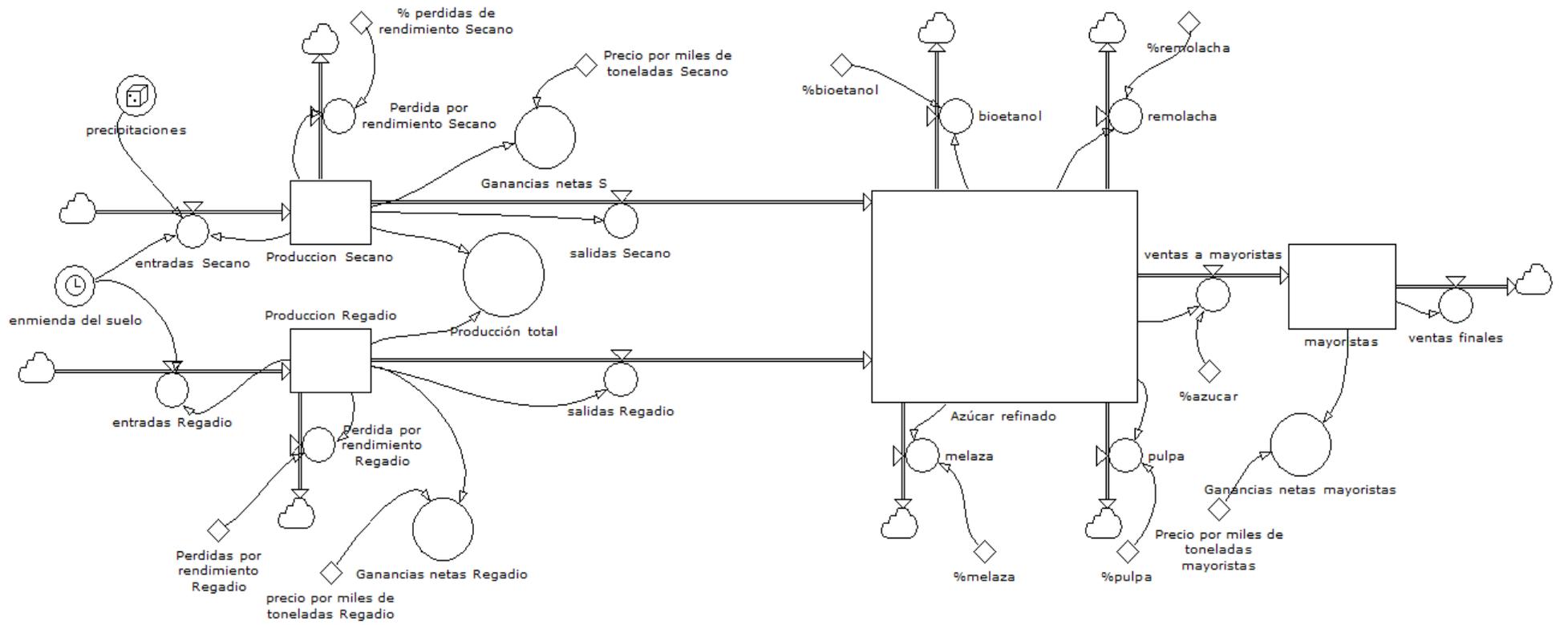
- *Entradas Regadío*: flujo de entrada del nivel Producción Regadío. Se alimenta por *la enmienda del suelo*, que se trata de una variable auxiliar que produce una mejora en la producción de remolachas de superficie regadío.
- *Salidas Regadío*: flujo de salida para el nivel *Producción Secano*, alimentado por el nivel Producción Secano con el 65% de la producción obtenida de remolacha.
- *Perdida por rendimiento Regadío*: flujo de salida para el nivel Producción Secano, alimentado por la constante *% pérdidas de rendimiento Secano*, que suponemos es un 35%.
- *Ganancias netas Regadío*: es una variable auxiliar. Está alimentada por el nivel *Producción Regadío* y por la constante *Precio por miles de toneladas Regadío*.
- *Producción total*: es una variable auxiliar. En este caso es alimentada por dos niveles: *Producción Secano* y *Producción Regadío*. La cantidad total de remolacha recogida en España en un año se compone de la suma de ambos niveles.
- Azúcar refinado: es un nivel principal. En él se calcula la cantidad de azúcar que se obtiene de la producción de remolacha en España. Hemos supuesto que la parte proporcional que no han sido pérdidas pasa directamente a este nivel. Los flujos de entrada y de salida de este nivel son:

- *Salidas Secano*: flujo de entrada del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por el nivel *Producción de Secano*.
- *Salidas Regadío*: flujo de entrada para el nivel *Azúcar refinado*, alimentado por el nivel Producción Regadío.
- *Melaza*: flujo de salida del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por la constante *% melaza*, que suponemos que es del 4% anual.
- *Bioetanol*: flujo de salida del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por la constante *% bioetanol*, que suponemos que es del 5% anual.

- *Pulpa*: flujo de salida del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por la constante *% pulpa*, que suponemos que es del 5% anual.
- *Remolacha*: flujo de salida del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por la constante *% remolacha*, que suponemos que es del 20% anual.
- *Ventas a mayoristas*: flujo de salida del nivel Azúcar refinado. Se alimenta por la constante *% azúcar*, que suponemos que es del 66% anual.
- Mayoristas: es un nivel principal. En él se calcula todo lo que se vende de azúcar a los consumidores en España. Suponemos que todo lo que compran los mayoristas lo quieren vender en el mercado. Los flujos de entrada, flujos de salida y variables auxiliares de este nivel son:
  - *Ventas a mayoristas*: flujo de entrada para el nivel *Mayoristas*, alimentado por la constante que corresponde al 66% de toda la remolacha que ha llegado al nivel de azúcar refinado.
  - *Ventas finales*: flujo de salida del nivel Mayoristas. Se alimenta por el nivel mayoristas. Todas las compras que hacen los mayoristas de la materia prima, en este caso el azúcar, van a constituir las ventas.
  - *Ganancias netas Secano*: es una variable auxiliar. Está alimentada por el nivel *Mayoristas* y por la constante *Precio por miles de toneladas Mayoristas*.

### 4.3 Diagrama de Forrester

Tener una perspectiva gráfica nos permite entender mejor todas las hipótesis y variables que hemos formulado previamente para el modelo. Para ello, hemos utilizado el programa Powersim studio 10. Este es un software de simulación y modelado. El Diagrama de Forrester siguiente simula el proceso desde que se recoge remolacha hasta su venta en España.

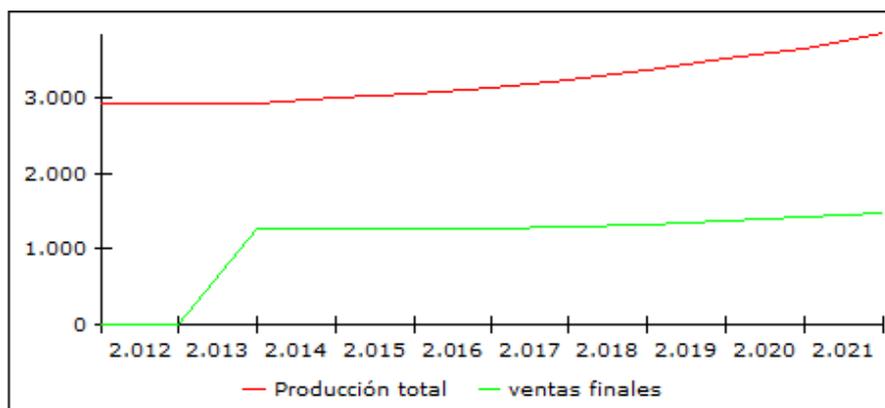


Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

#### 4.4 Análisis de la evolución

Nuestro modelo ha sido creado con el objetivo de observar la evolución de nuestras variables. En nuestro modelo tenemos una variable llamada *precipitaciones* que nos permite dar valores aleatorios, debido al clima incierto.

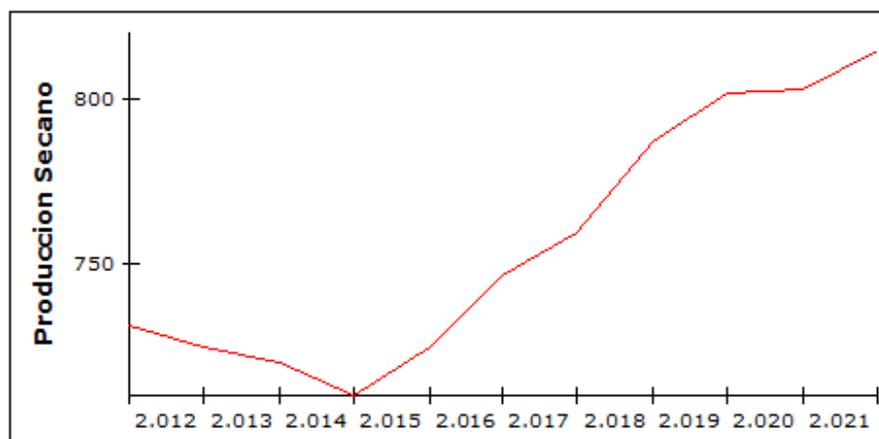
**Gráfico 4.1: Evolución de Producción total y Ventas finales**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En el Gráfico 4.1 podemos observar que la producción de remolacha va aumentando a lo largo de los años. Este crecimiento se debe a las políticas para la mejora del suelo aplicadas. En el momento en el que cesen las políticas, el sector dejará de crecer. Sin embargo, no todo lo que se produce se va a vender al final transformado en azúcar. Esto se debe a las pérdidas que van a sufrir durante el proceso y a la diversificación del producto en la etapa de refinado. Además, hasta el 3<sup>er</sup> año no se vende azúcar porque no ha dado tiempo a que sea transformado el producto.

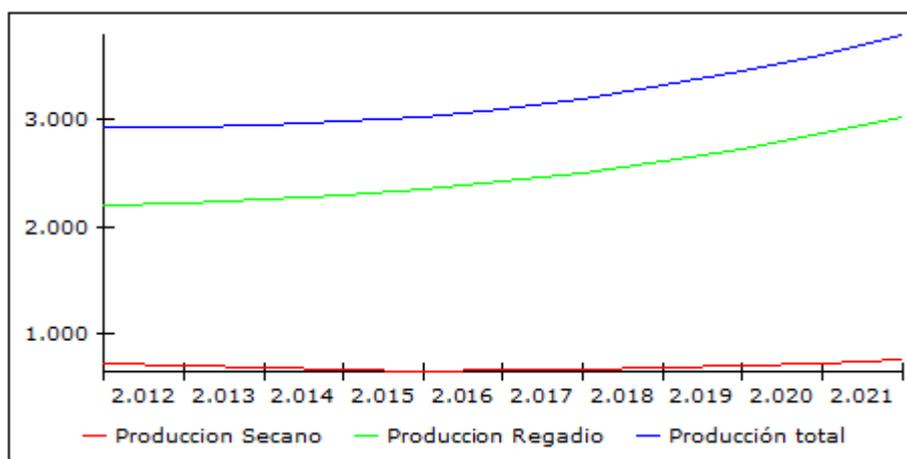
**Gráfico 4.2: Evolución de la Producción de Secano**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En este Gráfico 4.2 podemos ver representada la producción de secano de remolacha cada año durante 11 años que es el periodo elegido. La variable auxiliar *precipitaciones* afecta directamente a la Producción de Secano, por lo que cada muestra tomada sería distinta de la anterior. Parte de ese crecimiento progresivo se debe a la mejora de la enmienda del suelo. Podemos destacar que en este escenario, en el 4º año la producción de secano alcanzó su valor mínimo, pero en los siguientes años volvieron a incrementarse esos valores.

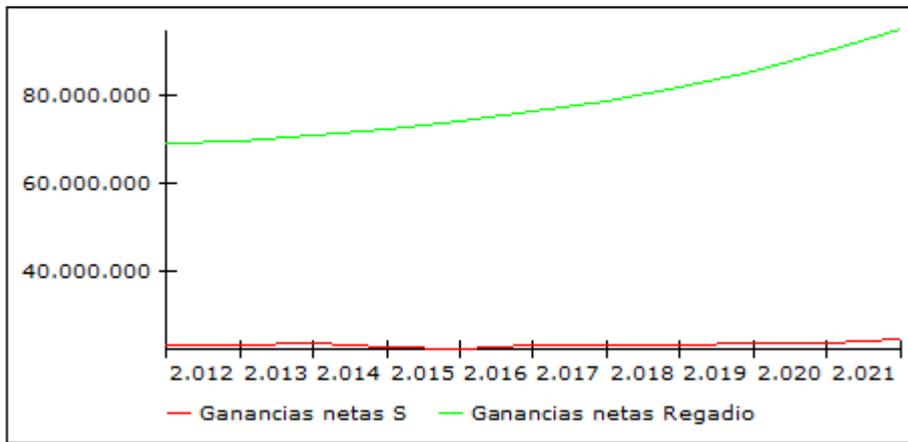
**Gráfico 4.3: Evolución de la Producción de Secano, Regadío y Total**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En el Gráfico 4.3 vamos a analizar los resultados sobre la producción de secano, regadío y total. Podemos observar que la producción de remolacha en España ha tenido un crecimiento durante 11 años. La producción de regadío es quien aporta mayor cantidad de remolacha al total. La variabilidad aportada por las precipitaciones a la producción de secano apenas se refleja en la producción total, debido al reducido tamaño de la superficie dedicada a este tipo de cultivo.

**Gráfico 4.4: Evolución de las Ganancias netas de Secano y Regadío**

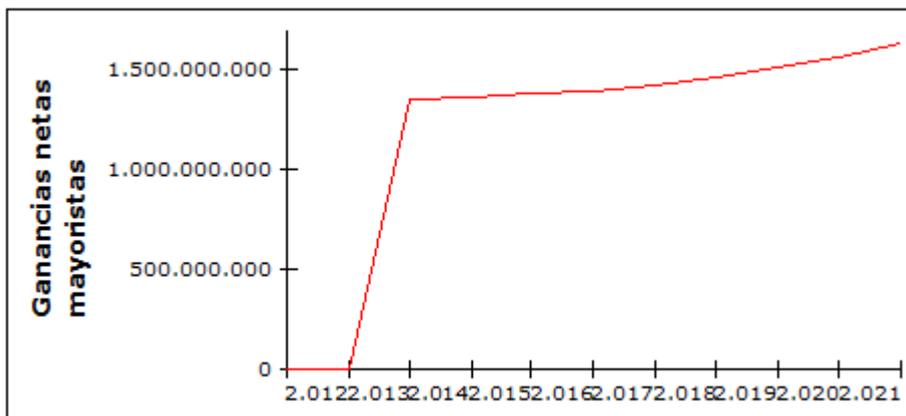


Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

Como se puede observar en el Gráfico 4.4, las ganancias tienen una relación directa con la producción de remolacha. En el caso de producir en una superficie de secano la ganancia es menor por la superficie destinada a ello, y además está afectada por la variabilidad de las precipitaciones. Por otra parte, al haber un mayor rendimiento en la superficie de regadío hay más beneficios. Todos los beneficios están sujetos al impuesto correspondiente. En este caso es del 12%.

En el Gráfico 4.5 se representan las ganancias obtenidas por los mayoristas.

**Gráfico 4.5: Evolución de las Ganancias netas de Mayoristas**

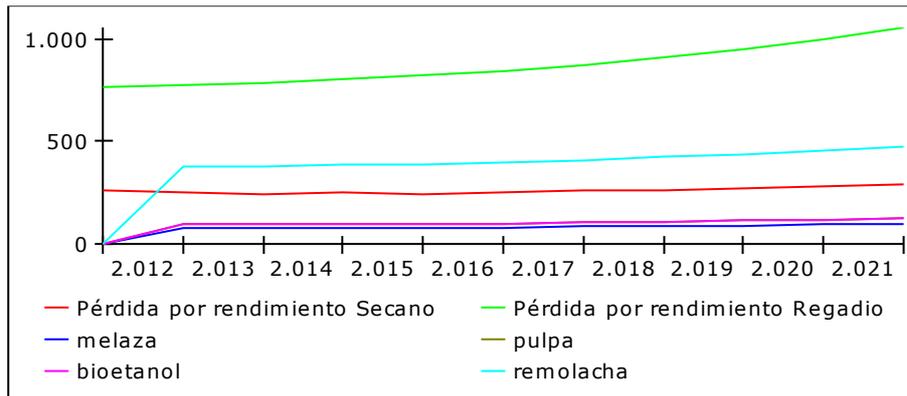


Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

Al comenzar este proceso, desde que se recogen las remolachas hasta que los mayoristas venden el azúcar ya transformado pasan por lo menos 2 años, por lo tanto, los primeros años del estudio no obtiene ningún beneficio. Luego ya a partir

del tercer año es cuando empiezan a vender y se nota una tendencia ascendente como en los anteriores gráficos debido a que existe una relación directa entre las variables. Mientras la producción aumente, los mayoristas podrán vender más azúcar y obtener más dinero. Sin embargo, el azúcar está sujeto a un 10% de IVA.

**Gráfico 4.6: Evolución de Pérdidas en el Proceso**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

El Gráfico 4.6 representa todas las pérdidas y transformaciones que sufre la remolacha desde que se cosecha hasta que se vende convertida en azúcar. Existe una mayor pérdida en la producción de regadío debido a que se mueve mayor cantidad de remolacha. Todas las variables tienen tendencia creciente porque se produce más remolacha cada año debido a las mejoras que se hacen en el suelo. Pero siempre existirán pérdidas en el proceso de recolección de remolacha y en la transformación de la remolacha en azúcar.

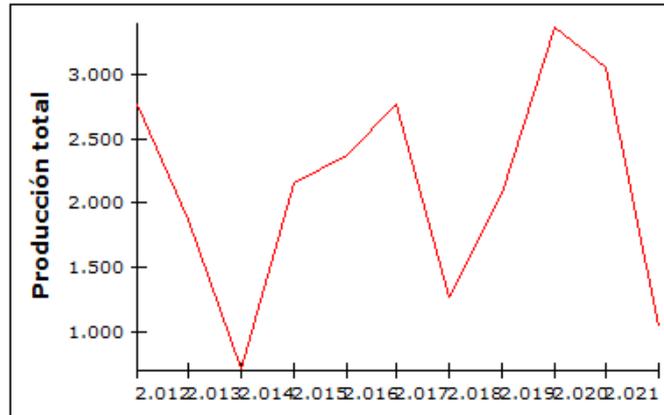
## 5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL MODELO

Para esta situación, vamos a suponer que han aparecido plagas que ha destrozado toda la cosecha los años 2014, 2018 y 2022 en España, por lo que los agricultores, intermediarios y los mayoristas no tendrán beneficios ni producción esos años. Posteriormente, suponemos que el gobierno toma medidas preventivas para evitar estos accidentes, como el uso de microorganismos para matar a las plagas.

Para ello se ha añadido una variable llamada *plaga*. Su función simula una situación en la que la producción de remolacha en España cae de manera brusca algún año.

Esta variable se ha unido a la Producción de secano y de regadío. Las variaciones ocasionadas por la plaga en la producción se pueden ver en el Gráfico 5.1.

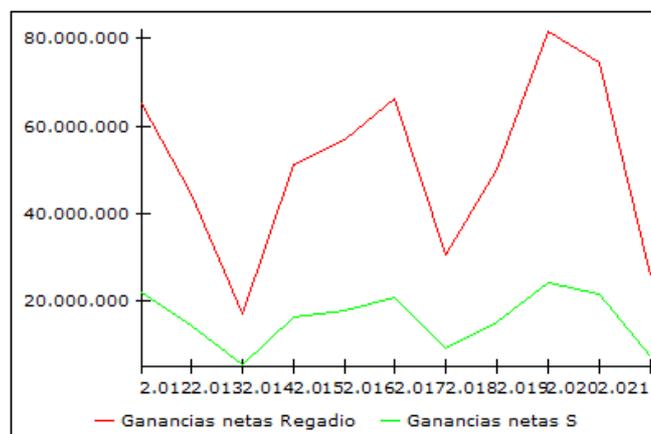
**Gráfica 5.1: Evolución de la Producción en función de la plaga.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En este gráfico las cantidades de remolacha producida en España son altas excepto cuando aparece una plaga. La producción disminuye drásticamente hasta alcanzar mínimos esos años. Posteriormente, se adoptan medidas y se reflejan perfectamente los resultados porque la producción vuelve a aumentar cada año. La aparición de plagas crea incertidumbre generando pérdidas.

**Gráfica 5.2: Evolución de las Ganancias de secano y regadío en función de la plaga.**

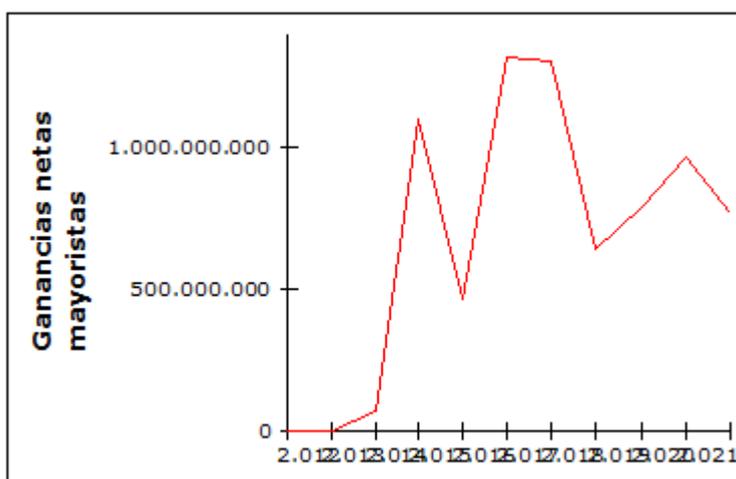


Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim

En el Gráfico 5.2 se puede observar que en los años en los que aparecen plagas las ganancias disminuyen notablemente. La disminución es más grande en las

superficies de regadío porque es el terreno que se ve más afectado. Sin embargo, la superficie de secano al tener menor cantidad de producción de remolacha anual no tiene relativamente tantas pérdidas y no afecta tanto a este mercado como sí es el caso de la superficie de regadío.

**Gráfica 5.3: Evolución de las Ganancias mayoristas en función de la plaga.**



Fuente: Elaboración propia a partir de Powersim.

En el Gráfico 5.3 podemos observar que las plagas también afectan a los mayoristas que se dedican a vender azúcar. Hasta el 3<sup>er</sup> año los mayoristas no empiezan a tener ganancias por la venta de azúcar. Con la aparición de plagas, los mayoristas se ven afectados 1-2 años después debido a que no hay existencias de azúcar. Este gráfico representa los beneficios que tendrían los mayoristas si siguieran en el mercado todos los años. Sin embargo, los mayoristas tienen tiempo de reaccionar, a diferencia de los agricultores, por lo que pueden cambiar de mercado sin verse afectados.

## 6. CONCLUSIONES

El sector azucarero es una industria global importante con una extensa cadena de valor que se inicia desde la agricultura hasta la producción y el comercio. En este mercado existen muchas oportunidades para crecer y adaptarse a los cambios de la demanda de mercado. El azúcar, al ser un producto tan demandado es impulsado por la industria alimentaria, pero los precios son volátiles y están influenciados por las

políticas agrarias y las condiciones climáticas. Al ser un producto que es conocido a nivel global se ha realizado un estudio sobre el proceso productivo desde la remolacha hasta la venta de azúcar refinado.

En un principio, hemos definido diversas variables que hemos plasmado en el diagrama de Forrester correspondiente.

Los resultados obtenidos son los esperados, la variable “enmienda del suelo” nos ha proporcionado un crecimiento sostenido de la producción de remolacha en España. La producción de secano se ha visto afectada por las inesperadas precipitaciones alterando la producción en esa superficie. Se han producido esta última década en torno a 3 millones de toneladas anuales aproximadamente y sigue creciendo. El 25% aproximadamente es de la superficie de secano, y el resto, de regadío, superando los 2 millones de toneladas anuales.

Se observa que, de toda la producción de remolacha anual, solo se vende aproximadamente una tercera parte en forma de azúcar. Por otra parte, las ganancias de los mayoristas son muy superiores a las ganancias generadas por el cultivo de remolacha en superficies de secano y regadío, habiendo aumentado el valor de la tonelada aproximadamente en un 3200%.

A continuación, para realizar un análisis de sensibilidad, se ha introducido una nueva variable llamada “*plaga*” que ha tomado valores aleatorios. Esta variable nos ha dado como resultado la aparición de plagas en los años 2014, 2018 y 2022 en todo el territorio español. Estas plagas han provocado que la producción de remolacha se pierda sin generar beneficios, dejando una gran incertidumbre en el mercado.

Este sector tiene como objetivo seguir creciendo y produciendo azúcar a nivel nacional a pesar de las posibles complicaciones que aparezcan en el futuro. Aunque el azúcar no sea un alimento de primera necesidad siempre estará en la dieta de la población. Es por eso por lo que este sector no va a desaparecer nunca y aparecerán nuevas técnicas para mejorar los procesos y ser más eficientes con este producto.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Libros, informes y páginas web:

Aracil, J. (1983): *Introducción a la dinámica de sistemas*. Alianza Editorial, Madrid.

Aracil, J. (1995). *Dinámica de sistemas*. Isdefe, Madrid.

Aracil, J. y Gordillo, F (1997). *Dinámica de Sistemas*. Editorial Alianza, Madrid.

De Benito, V. (2024, 19 Mayo) *¿Qué es el IVA reducido, cuando se puede aplicar y en qué productos?*

<https://www.idealista.com/news/finanzas/economia/2024/05/19/816756-que-es-es-iva-reducido-cuando-se-puede-aplicar-y-en-que-productos#:~:text=de%20la%20sociedad.-,Servicios%20y%20productos%20con%20IVA%20reducido%20del%2010%25%20en%20Espa%C3%B1a,y%20otros%20productos%20alimenticios%20ob%C3%A1sicos> [Último acceso: 10/07/2024]

Ecured. *Powersim*. <https://www.ecured.cu/Powersim> [Ultimo acceso: 09/07/2024]

FEDNA. *Melazas de Remolacha Azucarera*.

[https://www.fundacionfedna.org/ingredientes\\_para\\_piensos/melazas-de-remolacha-azucarera](https://www.fundacionfedna.org/ingredientes_para_piensos/melazas-de-remolacha-azucarera) [Ultimo acceso: 08/07/2024]

Ignacio Álvarez, J. (2020, 30 Septiembre) *El lado bueno del azúcar: no todo son perjuicios*. <https://www.economista.es/saludable/noticias/10800905/09/20/El-lado-bueno-del-azucar-no-todo-son-perjuicios.html> [Ultimo acceso: 22/02/2024]

KWS. *Remolacha azucarera frente a caña de azúcar*:

<https://www.kws.com/es/es/producto/remolacha-azucarera/rentabilidad-obtenido-mediante-mejoramiento/remolacha-azucarera-frente-a-cana-de-azucar/> [Último acceso: 31/05/2024]

Making sense of sugar. *Historia del azúcar*.

<https://www.makingsenseofsugar.com/es-es/todo-sobre-el-azucar/historia-del-azucar> [Último acceso: 09/04/2024]

Martínez, L. (2020, 12 Julio) *El azúcar, historia de un motor geopolítico y económico*. <https://elordenmundial.com/azucar-historia-geopolitica-economia/> [Último acceso: 08/04/2024]

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Azúcar*.

[https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/azucar\\_tcm30-102346.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/azucar_tcm30-102346.pdf) [Último acceso: 09/04/2024]

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Remolacha Azucarera*.

[https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/remolacha-azucarera/informacion\\_general\\_remolacha\\_azucarera.aspx](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/remolacha-azucarera/informacion_general_remolacha_azucarera.aspx)  
[Último acceso: 31/05/2024]

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Cultivos Industriales-Remolacha Azucarera*. [Av AE 2023.pdf \(mapa.gob.es\)](#). [Ultimo acceso: 08/07/2024]

Pereira, D. (2023, 25 Mayo) *Efectos negativos del exceso del azúcar*.

<https://mejorconsalud.as.com/descubre-los-efectos-negativos-del-azucar-cuerpo-cerebro/> [Ultimo acceso: 27/02/2024]

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. *Datos de Campaña de Remolacha Azucarera y Azúcar 2022/23*.

[https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/campana2022-2023\\_tcm30-674014.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/campana2022-2023_tcm30-674014.pdf) [Ultimo acceso: 09/07/2024]

Noticias de Álava. (2023, 14 Noviembre). *Preocupación en el sector remolachero alavés ante la baja producción y riqueza en azúcar de la actual cosecha*.

<https://www.notici-asdealava.eus/gasteiz/2023/11/14/preocupacion-sector-remolachero-alaves-baja-7515387.html> [Ultimo acceso: 08/07/2024]

Pérez Porto, J., & Gardey, A. (2023, 23 Febrero) *Definición de azúcar*

<https://definicion.de/azucar/> [Ultimo acceso: 22/02/2024]

Statista. (2023, 13 Octubre) *Azúcar: precio medio en España 2011-2022*

<https://es.statista.com/estadisticas/535215/precio-medio-de-azucar-en-espana/#:~:text=Un%20kilogramo%20de%20az%C3%BAcar%20en,aproximadamente%201%2C2%20en%202022>

[[Ultimo acceso: 08/07/2024]

Zafrán.com. (2020, 28 julio) *Historia del*

*azúcar*. <https://www.zafran.com.ar/historia/historia-del-azucar/#:~:text=El%20az%C3%BAcar%20propiamente%20dicha%20aparecer%C3%>

[ADa,indios%20hasta%20el%20continente%20asi%C3%A1tico.](#) [Último acceso:  
08/04/2024]