

Proyecto Fin de Grado

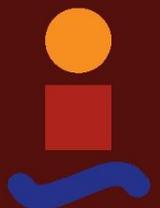
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis de la inversión en una máquina de fabricación de botellas de vidrio.
Opciones reales.

Autor: Felipe Esteban Ortega
Tutor: José Miguel León Blanco

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Grado en Ingeniería de las Tecnologías
Industriales

Análisis de la inversión en una máquina de fabricación de botellas de vidrio. Opciones reales.

Autor:
Felipe Esteban Ortega

Tutor:
José Miguel Blanco León
Profesor contratado doctor

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Análisis de una inversión en una máquina de fabricación de botellas de vidrio mediante opciones reales.

Autor: Felipe Esteban Ortega
Tutor: José Miguel León Blanco

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi familia y a mis amigos por todo el apoyo durante esta bonita etapa de mi vida. También dar las gracias a mi tutor el doctor Jose Miguel León Blanco por su tiempo y ayuda para elaborar este proyecto de fin de grado y a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería por todos los conocimientos que me han aportado durante todos estos años.

Felipe Esteban Ortega

Sevilla, 2023

Resumen

Este proyecto tiene como objetivo realizar un estudio de las metodologías para el análisis de inversión con opciones reales existentes para utilizar la correcta. Con esto se pretende demostrar la eficacia de este método frente a otros tradicionales utilizados en la mayoría de los estudios de análisis de inversiones como el VAN y la TIR.

Este estudio se va a aplicar en una inversión del sector industrial, en concreto en la inversión de una máquina de fabricación de botellas de vidrio para ver si es mejor continuar con la máquina que hay actualmente pagando unos costes operativos más altos y teniendo un rendimiento cada año más bajo, o, por el contrario, comprar una máquina nueva, contando con el gasto inicial que supone eso, pero teniendo en cuenta que el rendimiento sería mayor y los costes operativos serían menores. También se ve al final la posibilidad de aplazar la inversión y si esta opción es mejor o peor.

Para ello, en este caso práctico se utilizará la volatilidad de los precios medios anuales de las botellas de vidrio, la cantidad de botellas producidas al año, los rendimientos y los ingresos anuales de la fábrica. Se utilizará el método binomial que proporcionará diferentes resultados dando una visión de la inversión mucho más amplia que la proporcionada por el método tradicional.

Como resultado se obtiene que es mejor realizar la inversión y aplazarla 3 años, y que el VAN de la opción de aplazarlo 3 años es superior al VAN del proyecto.

Abstract

The purpose of this project is to carry out a study of the existing methodologies for investment analysis with real options in order to use the correct one. The aim is to demonstrate the effectiveness of this method compared to other traditional methods used in most investment analysis studies, such as NPV and IRR.

This study is going to be applied to an investment in the industrial sector, specifically in the investment of a glass bottle manufacturing machine to see if it is better to continue with the current machine, paying higher operating costs and having a lower yield each year, or, on the contrary, to buy a new machine, taking into account the initial cost involved, but bearing in mind that the yield would be higher and the operating costs would be lower. The possibility of deferring the investment and whether this option is better or worse is also considered at the end.

For this purpose, in this case study, the volatility of the annual average prices of glass bottles, the quantity of bottles produced per year, the yields and the annual income of the factory will be used. The binomial method will be used which will provide different results giving a much broader view of the investment than that provided by the traditional method.

As a result it is obtained that it is better to make the investment and postpone it for 3 years, and that the NPV of the 3-year postponement option is higher than the NPV of the project.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xv
Índice de tablas	xvii
Índice de Ilustraciones	xix
1. INTRODUCCIÓN	1
2. Marco teórico	2
2.1. Inicios de la valoración de las opciones reales	2
2.2. Influencia de las opciones reales en los análisis de inversión	4
2.3. Opciones financieras vs opciones reales	6
2.4. Volatilidad de la inversión	7
3. Sector de envases de vidrio	8
3.1. IMPORTANCIA DE LOS ENVASES EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO	8
3.2. Descripción de la empresa objeto de estudio	9
3.3. Proceso de fabricación	10
4. Máquina de fabricación	11
4.1. Máquina de fabricación de botellas	11
4.2. Cambio de máquina de fabricación	12
4.3. El caso de la fábrica objeto de estudio	13
5. ANÁLISIS DEL PROYECTO	14
5.1. Opciones reales del Proyecto	14
5.2. Volatilidad del proyecto	18
5.3. Opción 1: Realizar la inversión	20
5.4. Opción 2: Aplazar la inversión	24
6. Conclusiones	34
7. Bibliografía	36

Índice de tablas

Tabla 1. Porcentaje de producción de vidrio por subsector (Resumen Ejecutivo BREF vidrio).....	8
Tabla 2. Costes, ingresos y beneficio de los últimos años de la máquina actual (Elaboración propia).....	15
Tabla 3. Estimación del beneficio económico anual de la máquina nueva (Elaboración propia).....	15
Tabla 4. Estimación del beneficio económico anual de la máquina actual (Elaboración propia).....	16
Tabla 5. Diferencia beneficio entre la máquina nueva y la antigua durante los próximos años (Elaboración propia).....	16
Tabla 6. Precio medio de venta mensual en el último año. (Elaboración propia).....	18
Tabla 7. Variaciones de precio anuales y volatilidad anual (Elaboración propia).....	19
Tabla 8. Rendimiento técnico de la máquina (Elaboración propia).....	22
Tabla 9. Tabla de precios por unidades fabricadas. (Elaboración propia).....	22
Tabla 10. Ingreso anual (Elaboración propia).....	22
Tabla 11. Cuenta de pérdidas y ganancias máquina nueva (Elaboración propia).....	22
Tabla 14. Valores del VAN y TIR calculados (Elaboración propia).....	24
Tabla 15. Costes totales por año (Elaboración propia).....	26

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Etapas proceso de fabricación de botellas (PROCESO DE FABRICACION DEL VIDRIO, Marinelli).....	10
Ilustración 2. Partes máquina de fabricación (PROCESO DE FABRICACION DEL VIDRIO, Marinelli).....	11
Ilustración 3. Rendimientos anuales de la máquina actual (Elaboración propia).....	14
Ilustración 4. Ascenso y descenso de un árbol binomial (Elaboración propia).....	25
Ilustración 5. Evolución de los ingresos. (Elaboración propia).....	26
Ilustración 6. Evaluación del activo subyacente restando los costes totales (Elaboración propia).....	27
Ilustración 7. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al cuarto año (Elaboración propia).....	28
Ilustración 8. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al tercer año (Elaboración propia).....	29
Ilustración 9. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al segundo año (Elaboración propia).....	30
Ilustración 10. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al primer año (Elaboración propia).....	30

1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se puede observar que, pese a cómo se han ido desarrollando las tecnologías a lo largo del tiempo, se siguen utilizando métodos tradicionales a la hora de hacer análisis de inversiones, por lo que es buena idea dar a conocer las diferentes herramientas que tenemos a disposición para realizar dichos análisis de forma más eficaz.

De esta forma, existen distintos métodos para la valoración de opciones, los cuales no suelen coincidir en los resultados, por lo tanto, el hecho de que haya tantos métodos se debe a que todavía falta un método general por desarrollar.

Estos son los motivos por los cuales se va a desarrollar este trabajo de fin de grado, siendo un intento de ayudar a comprender y a saber utilizar las herramientas y métodos existentes.

En primer lugar, se explicará la parte teórica de este proyecto y se realizará una revisión del conocimiento sobre opciones reales, describiendo los tipos de opciones que existen y la forma de utilizarlos, las ventajas e inconvenientes que pueden presentar, y una vez hecho esto se procederá a proporcionar datos relevantes sobre el sector de las botellas de vidrio.

Después se llevará a cabo un análisis de un proyecto en el que se aplica a la valoración de opciones reales a la compra de una máquina de fabricación de botellas de vidrio en una fábrica de Sevilla.

Por último, se hablará sobre la aplicación de la fórmula Black-Scholes para la opción real objeto de este proyecto y los distintos parámetros que intervienen, y la utilización del método binomial para obtener unos resultados que nos ayudarán a tomar decisiones con mayor acierto.

2. Marco teórico

2.1. Inicios de la valoración de las opciones reales

El estudio de las oportunidades reales surge de la valoración de las opciones financieras, pero no se pueden aplicar las mismas fórmulas debido a un supuesto diferencial clave. Mientras que una inversión en una opción financiera puede ser replicada en una cartera compuesta por compra de acciones y financiación de préstamos, en una inversión real esto no es posible (Mascareñas, 2019). Como resultado, se deben modificar las fórmulas para adaptarse a la inversión real.

El inicio de la valoración de opciones reales sobre acciones se remonta al intento de Black-Scholes de crear una fórmula para este fin. El modelo Black-Scholes fue desarrollado por Fisher Black y Myron Scholes, y lleva sus nombres. Al principio, este modelo se utilizó para valorar opciones de compra europeas sobre acciones que no repartían dividendos, es decir, para calcular el precio justo de una opción financiera. Con el tiempo, el cálculo se amplió para incluir todo tipo de opciones. En 1973, el modelo Black-Scholes recibió el premio Nobel de economía y se convirtió en uno de los pilares fundamentales de la teoría financiera moderna. Actualmente, muchos analistas financieros utilizan este modelo para determinar el precio adecuado de una opción financiera.

Desde entonces, se han realizado numerosos esfuerzos para mejorar la teoría, desarrollando nuevos supuestos y planteamientos matemáticos que han dado lugar a diversos métodos para valorar opciones. Sin embargo, ninguno de ellos puede ser considerado un avance significativo en este campo.

El modelo binomial (Ross, Cox y Rubinstein, 1979) es un procedimiento alternativo común, pero en la práctica, los resultados no difieren mucho del método Black-Scholes. Este modelo discreto asume que el precio del activo subyacente puede aumentar o disminuir en una cantidad fija en cada período de tiempo. Esto se conoce como proceso binomial multiplicativo, donde solo hay dos resultados posibles: un aumento o una disminución en el precio del activo. Cada resultado tiene una probabilidad asociada, p y $1-p$, respectivamente. Al extender este proceso a través de varios períodos, se puede determinar el valor teórico de una opción utilizando una distribución de probabilidad de los posibles resultados.

$$C = \frac{1}{r} \times [p \times C_u + (1 - p) \times C_d] \quad (1)$$

Donde:

$$p = \frac{r-d}{u-d}$$

C = Valor teórico de una opción call

$r = (1+Rf)$ Con la tasa libre de riesgo, siendo Rf el tipo de interés anual sin riesgo

u = El movimiento multiplicativo al alza del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de p

d = El movimiento multiplicativo a la baja del precio del subyacente en un período, con una probabilidad asociada de (1 – p)

Cu = Valor de la opción call al vencimiento con un movimiento multiplicativo al alza

Cd = Valor de la opción call al vencimiento con un movimiento multiplicativo a la baja

También se utiliza la simulación de Montecarlo (Boyle, 1977), que se basa en procesos estocásticos. Sin embargo, después de estas contribuciones, se han realizado esfuerzos para aplicar diferentes metodologías a una variedad de sectores, siendo los árboles de decisión una de las contribuciones más recientes y decisivas, ya que supone una simplificación del método y ayuda a una comprensión más intuitiva de los resultados.

2.2. Influencia de las opciones reales en los análisis de inversión.

La valoración de las opciones reales es un concepto (Myers, 1977) que se espera que se utilice cada vez más en el futuro y que se investigue más científicamente. La teoría de opciones reales considera la flexibilidad en un proyecto de inversión, lo que puede reducir la incertidumbre inicial. La aplicación de esta teoría permite una toma de decisiones más adecuada y racional que el uso de técnicas tradicionales como la VAN o la TIR, ya que tiene en cuenta la valoración de oportunidades y el punto de vista estratégico de la empresa.

El VAN es la diferencia entre el valor actual de los ingresos generados por el proyecto y el costo inicial de inversión del proyecto. Este método de evaluación económica es fácil de comprender, ya que proporciona una estimación del beneficio que se espera obtener durante el período de tiempo de la inversión. Se pueden dar tres escenarios: si el VAN es mayor que cero, el proyecto sería viable, si el VAN es igual a cero, el proyecto no sería viable ya que se estaría asumiendo un riesgo y no se obtendrían beneficios, y si el Van es menos que cero tampoco sería viable ya que se obtendrían pérdidas.

$$VAN = \sum \frac{FC_i}{(1+r)^i} - I_0 \quad (2)$$

La TIR consiste en el cálculo de la tasa de actualización mínima para la que la suma de los flujos de caja obtenidos sea igual que el coste inicial de la inversión. Según este criterio financiero, una inversión será viable si el valor de la tasa interna de retorno obtenida es mayor que la tasa del Proyecto.

$$VAN = \sum \frac{FC_i}{(1+TIR)^i} - I_0 = 0 \quad (3)$$

De esta manera, si descartamos las diversas alternativas que un proyecto puede presentar, podemos llegar a la conclusión errónea de que no es rentable. Sin embargo, es posible que dicho proyecto sea altamente lucrativo si se toma en cuenta que existe la posibilidad de poseer un derecho y postergar la inversión para disminuir la incertidumbre de las variables clave en las decisiones a tomar. Por consiguiente, es esencial aplicar la teoría de opciones en proyectos que tengan la posibilidad de ser flexibles en el futuro, ya que, de lo contrario, se podría llegar a la conclusión de que un proyecto no es rentable con la información actual, no siendo esto cierto. Hay que tener en cuenta que la situación puede cambiar en el futuro y si se cuenta con una opción, se pueden aprovechar los posibles escenarios de rentabilidad.

¿Qué significa el término opciones reales? En términos generales, se refiere a las oportunidades que tienen los inversores en un proyecto para tomar decisiones estratégicas que pueden afectar positiva o negativamente la rentabilidad del mismo (Mascareñas, 2018). Estas opciones suelen dividirse en tres categorías principales:

1. Ampliar, reducir o abandonar el proyecto.

Suele consistir en llevar a cabo una experiencia piloto, por lo que, este tipo de opción tiene un valor estratégico a considerar. Se pueden distinguir tres casos: adquisiciones del tipo estratégico, investigación y desarrollo, y proyectos multietapa. El valor de estas opciones es superior en los proyectos más volátiles.

Si una vez que se obtiene información disminuye el grado de incertidumbre, se puede ampliar o reducir la inversión, por lo que habrá más posibilidades de incrementar los rendimientos.

Una de las opciones de ampliación más importantes son las de investigación y desarrollo, obteniendo una patente sobre un producto.

2. Aplazarlo en el tiempo.

Si es posible demorar una inversión y no es necesario invertir en una fecha determinada, esto puede dar valor al proyecto por su flexibilidad. Se reduce la incertidumbre con más información y se puede esperar a la mejor coyuntura. Así, los flujos de efectivo esperados y la tasa de descuento pueden variar con el tiempo, lo que puede convertir un proyecto inviable en un negocio rentable. Esta opción es especialmente valiosa en proyectos con alta incertidumbre.

3. Utilización de la inversión en usos alternativos.

Si se desarrolla un producto para cubrir una cierta necesidad, y este mismo puede tener otra utilidad, esto hace que pueda aumentar el valor del proyecto inicial.

Es importante considerar que la ejecución de una opción puede generar nuevas opciones, conocidas como opciones compuestas, y puede haber más de una variable determinante con incertidumbre, dando lugar a las denominadas opciones arcoíris (Amram y Kulatilaka, 2000).

2.3. Opciones financieras vs opciones reales.

La opción financiera puede ser de compra o venta, siendo denominada call o put respectivamente. Un contrato call da derecho a comprar un número determinado de acciones a un precio establecido, mientras que un contrato put otorga el derecho a vender esas mismas acciones. Si la opción se puede ejercer en cualquier momento antes de la fecha de vencimiento, se trata de una opción americana, mientras que, si solo se puede ejercer en la fecha acordada, se trata de una opción europea (Amram y Kulatilaka, 2000). El valor de las opciones financieras se calcula mediante fórmulas que tienen en cuenta una cartera réplica que proporciona un rendimiento similar. Sin embargo, en las opciones reales no hay una réplica de cartera, por lo que se deben modificar las fórmulas. Debido a la flexibilidad de un proyecto de inversión, es necesario que las opciones reales se valoren mediante opciones reales Real Options Valuation (Grenadier y Weiss, 1997), lo que implica considerar las opciones que se pueden dar durante la ejecución de dicho proyecto. El ROV será positivo si el inversor puede aprovechar las opciones, pero puede ser negativo si las pueden aprovechar terceros.

La principal diferencia entre las opciones financieras y reales es la dificultad de responder a tres preguntas críticas para la valoración de las opciones reales. En primer lugar, no está claro cuáles son los parámetros críticos para la valoración de las opciones reales, mientras que en las opciones financieras la respuesta es la evolución del precio del activo subyacente. En segundo lugar, hay más de una variable explicativa del rendimiento en las opciones reales, mientras que en las opciones financieras hay solo una clara variable con incertidumbre, la cual es el precio de la acción. En tercer lugar, una cartera réplica de un proyecto de negocio, que consiste en la compra de acciones mediante un préstamo, difícilmente se da en la realidad. No obstante, en el caso de las opciones financieras que involucran la compra o venta de acciones, siempre existe la opción de adquirir o vender dichas acciones mediante un préstamo con un rendimiento similar al de la opción. En caso contrario, se produciría un proceso de arbitraje en el que se comprarían y venderían acciones en diferentes mercados hasta igualar los precios de la opción y la cartera de activos.

2.4. Volatilidad de la inversión

Una tarea crucial en el análisis de proyectos de inversión es abordar el tema de la incertidumbre, ya que puede tener un gran impacto en los resultados. En esta sección se profundizará en la importancia de este aspecto y se destacarán los puntos más volátiles del proyecto de inversión en cuestión.

La incertidumbre o volatilidad en inversión se refiere a la probabilidad de que el valor de un activo cambie con el tiempo. Estos cambios pueden ser causados por factores naturales o artificiales, como bloqueos comerciales o cambios en la oferta y la demanda del mercado. Aunque estos cambios no pueden ser completamente prevenidos, es más fácil predecir y manejar los cambios producidos por el mercado.

El objetivo principal de la teoría de análisis de inversiones es calcular y reducir, en la medida de lo posible, la volatilidad de una inversión. Los proyectos con alta incertidumbre suelen ser rechazados por los inversores debido a que se prefiere tener más seguridad, incluso si eso significa reducir la rentabilidad. Aunque muchas empresas y particulares intentan vender proyectos que aseguran un riesgo cero, esto es imposible de conseguir.

La compra de deuda a corto plazo, como las letras del tesoro, es un ejemplo de inversión libre de riesgo. La rentabilidad que se obtiene en estos activos se utiliza en el cálculo del VAN y la TIR, junto con una prima de riesgo.

3. Sector de envases de vidrio

3.1. IMPORTANCIA DE LOS ENVASES EN LA INDUSTRIA DEL VIDRIO

Como se puede ver en la Tabla 1, el 60% de la producción de vidrio en la Unión Europea se destina al sector de fabricación de envases de vidrio, por lo que esta es una parte importante de la industria del vidrio.

Subsector	% de la producción comunitaria total
Vidrio para envases	60
Vidrio plano	22
Filamento continuo	1,8
Vidrio doméstico	3,6
Vidrios especiales	5,8
Lanas minerales	6,8

Tabla 1. Porcentaje de producción de vidrio por subsector (Resumen Ejecutivo BREF vidrio)

El vidrio utilizado para hacer botellas generalmente se produce mediante fusión a altas temperaturas de arena de sílice, carbonato de calcio, carbonato de sodio, piedra caliza y otros ingredientes en menor proporción como el feldespato.

Las botellas de vidrio se considera la opción preferida en muchos sectores debido a sus propiedades, como su transparencia, resistencia química y capacidad de reciclaje.

Se utilizan en una amplia variedad de industrias, como la de alimentos y bebidas, la farmacéutica y la cosmética. En su fabricación, se utilizan una serie de técnicas, como son el moldeado, el soplado, recocido, puesta de tratamiento para que la botella sea resistente, detección de imperfecciones y el paletizado.

Este sector es altamente competitivo, con numerosas empresas tanto a nivel nacional como internacional. Las empresas compiten en términos de calidad, precio, capacidad de producción, innovación y capacidad de respuesta a las necesidades del mercado, y cada vez adoptan un mayor número de medidas ecológicas para reducir el consumo de energía, minimizar las emisiones de carbono y fomentar el reciclaje, ya que al ser el vidrio 100% reciclable, proporciona una ventaja competitiva.

A medida que la tecnología ha evolucionado, el proceso de fabricación de botellas de vidrio se ha vuelto cada vez más eficiente, permitiendo la producción de botellas de alta calidad en grandes cantidades.

3.2. Descripción de la empresa objeto de estudio

La empresa sobre la que nos vamos a centrar en este proyecto es una empresa líder en la fabricación y distribución de envases de vidrio para diversos mercados, como vinos y bebidas espirituosas, alimentos y productos farmacéuticos. Fue fundada en 2011 y tiene una presencia global, con operaciones en más de 30 países y una plantilla de alrededor de 10.000 empleados. Tiene tres unidades de negocio: Europa, América del Norte y América Latina. Cada unidad de negocio está compuesta por varias plantas de fabricación y centros de distribución.

En esta empresa se fabrica una amplia gama de envases de vidrio para una variedad de industrias. Sus productos incluyen botellas para vinos, licores y bebidas espirituosas, frascos para alimentos y productos farmacéuticos, y tarros para conservas y mermeladas. También ofrece soluciones personalizadas, como envases con etiquetas especiales y diseños exclusivos.

La compañía se centra en la innovación y la sostenibilidad para impulsar su crecimiento e invierte en nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia de la producción y reducir su huella ambiental. También trabaja en estrecha colaboración con sus clientes para desarrollar soluciones de envases que sean más sostenibles y respetuosas con el medio ambiente, por lo que ha establecido objetivos ambiciosos de sostenibilidad para 2025, incluyendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 27% y aumentar la cantidad de vidrio reciclado utilizado en sus procesos de fabricación.

3.3. Proceso de fabricación

Para comenzar el proceso se utiliza una arena compuesta por los componentes mencionados anteriormente, cada uno en un determinado porcentaje, junto al calcín. El calcín es vidrio reciclado, el cual se ha podido obtener de los residuos generados por las personas o empresas, o bien por las botellas que han sido rechazadas al haberse detectado defectos al inspeccionarlas. Toda esta arena y vidrio reciclado pasa por unas cintas, las cuales terminan desembocando en el horno.

Cuando llega la materia prima al horno, esta se calienta a una temperatura ligeramente superior a los 1500°C, y una vez obtenido el vidrio fundido, se pasa por unos canales llamados feeders que distribuyen el vidrio a las distintas máquinas de fabricación, y en los cuales se regula la temperatura.

Al llegar a la máquina de fabricación, un empujador regula la cantidad de vidrio que entra y que, posteriormente, es cortado por una máquina llamada IS, lo que forma lo que se denomina “gota”. La gota pasa por unos canales de distribución que hacen que lleguen a un primer molde llamado “preparador”, en el que se hace una preforma de la botella, ya sea mediante soplado o mediante prensado (dependiendo del tipo de botella), y después, mediante unos brazos robóticos, pasa a un segundo molde llamado “terminador”, en el que la botella termina de conformarse mediante soplado. Después de esto, las botellas salen de la máquina empujadas por una cinta hasta llegar al archa.

El archa es similar a un horno en el que se va disminuyendo la temperatura de las botellas para evitar que rompan por stress térmico. Al salir del archa, las botellas reciben un tratamiento para que tengan una mayor resistencia y que al chocar entre ellas no se rayen.

Tras pasar por el archa, las botellas pasan por una serie de máquinas de inspección para ver si tienen algún defecto, ya pueda ser de fisuras, boca obturada, o incluso que no se cumplan los espesores mínimos, entre muchos ejemplos.

Después de esto, las botellas se pasan por un volteador para evitar que se quede ningún resto de vidrio o cualquier otro elemento dentro de la misma, y finalmente llegan a la zona de paletizado. En esta zona es donde se forman las camadas, las cuales se van depositando en los pallets, que, una vez formados, se cubren con una o dos capas de plástico, se etiqueta y se almacenan para su posterior expedición.

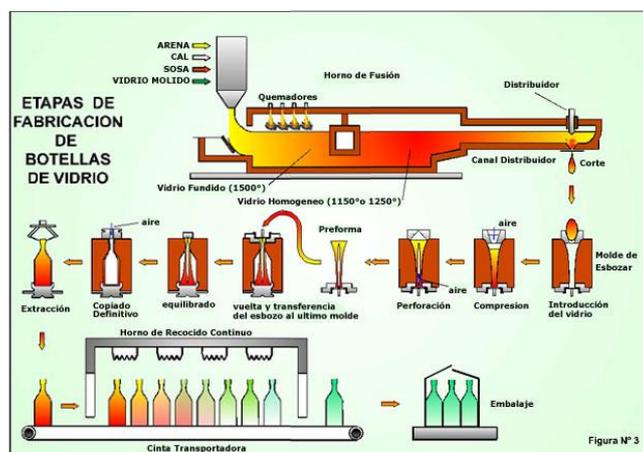


Ilustración 1. Etapas proceso de fabricación de botellas (PROCESO DE FABRICACION DEL VIDRIO, Marinelli)

4. Máquina de fabricación

4.1. Máquina de fabricación de botellas

Una máquina de botellas de vidrio es una herramienta industrial compleja y especializada diseñada para la producción masiva y eficiente de botellas de vidrio en una variedad de formas, tamaño y diseños. Estas máquinas son el resultado de una ingeniería avanzada y de la integración de múltiples procesos tecnológicos que permiten transformar el vidrio crudo en botellas listas para ser utilizadas. En la Ilustración 2 se observan las distintas partes de la máquina mencionadas en el apartado anterior.

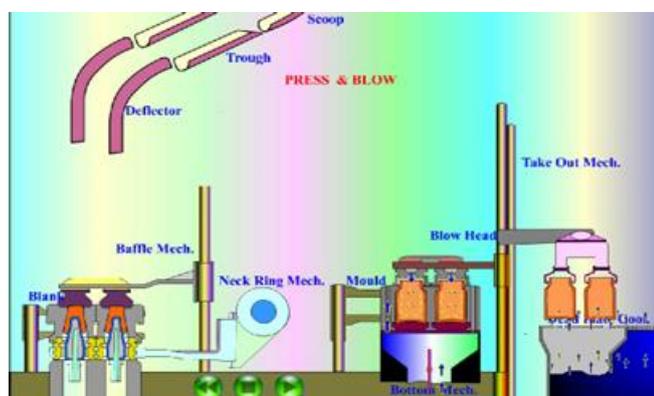


Ilustración 2. Partes máquina de fabricación (PROCESO DE FABRICACION DEL VIDRIO, Marinelli)

Aquí se pueden ver las distintas etapas por las que pasa el vidrio fundido hasta que se conforma el envase:

- Canales de distribución: hacen que las gotas lleguen a los moldes preparadores.
- Molde preparador: donde se hace una preforma de la botella, ya sea mediante soplado o mediante prensado.
- Brazos robóticos: llevan la preforma del molde preparador al terminador y del terminador a la cinta.
- Molde terminador: donde se termina de conformar la botella

4.2. Cambio de máquina de fabricación

4.2.1. Causas

Es conveniente cambiar una máquina de fabricación cada cierto tiempo, debido a varias razones, entre las que se encuentran el desgaste de la máquina a lo largo del tiempo (ya que, si el desgaste es demasiado grande, los costes de producción habrán aumentado y no vale la pena mantener la máquina), y el aumento de la probabilidad de fallos y averías. A mayor velocidad de la máquina, menor es su vida útil, ya que el desgaste se produce con mayor rapidez y hay un mayor número de probabilidades de que se originen roturas.

Otra razón por la que puede ser necesario cambiar una máquina de fabricación de botellas de vidrio es la obsolescencia, debido a que la tecnología y las técnicas de producción puedan haber avanzado y mejorado. Las nuevas máquinas pueden tener diseños y características mejoradas que pueden aumentar la eficiencia y reducir el tiempo de inactividad. También puede tener una mayor capacidad de producción que la máquina anterior, lo que hace que aumente la rentabilidad de la empresa. Además, si la máquina es muy antigua puede ser más difícil encontrar piezas de repuesto y puede tener mayores costes de reparación.

Una nueva máquina puede ser más eficiente energéticamente que la máquina anterior, lo que puede reducir los costes operativos y disminuir las emisiones de CO₂. El ahorro de energía también puede tener beneficios económicos a largo plazo, ya que los costes de energía engloban una gran parte de los costes de una fábrica.

La nueva máquina debe ser compatible con el espacio y la infraestructura existente de la fábrica, y puede ser necesario capacitar al personal para operar y mantenerla.

4.2.2. Consecuencias

Costes: El cambio de una máquina de fabricación de botellas de vidrio puede tener un impacto significativo en los costes de la empresa. La compra y la instalación de una nueva pueden ser costosas, pero también pueden ser necesarias para mejorar la eficiencia y la calidad del producto final. Además, puede ser necesario invertir en la formación de los empleados para que se adapten a la nueva maquinaria.

Producción: El cambio de una máquina puede afectar la producción de la empresa. Si la nueva máquina es más eficiente y tiene una mayor capacidad de producción, la empresa puede ser capaz de fabricar más botellas en menos tiempo. Sin embargo, si la nueva máquina tiene una menor capacidad de producción, esto puede retrasar la producción y afectar la cadena de suministro de la empresa. La instalación de una nueva máquina y la adaptación de los empleados a ella puede llevar tiempo, lo que puede afectar a la producción y al suministro de botellas a los clientes.

Calidad: La nueva máquina puede tener un impacto en la calidad de las botellas de vidrio fabricadas. Si la nueva máquina es más precisa y utiliza tecnología más avanzada, es posible que las botellas tengan una calidad superior. Sin embargo, si la nueva máquina tiene problemas de calidad, esto puede afectar la reputación de la empresa y la satisfacción del cliente. La empresa puede necesitar tiempo para ajustar y optimizar la nueva máquina para garantizar la calidad del producto.

Problemas de compatibilidad de máquina: Es posible que la nueva no sea compatible con los sistemas de automatización o software de la empresa, lo que puede generar problemas en la integración y en la gestión de la producción

Empleados: El cambio de una máquina de fabricación de botellas de vidrio puede afectar a los empleados de la empresa. Si la nueva máquina es más automatizada, es posible que se necesiten menos trabajadores para operarla. Esto podría afectar a los empleados actuales, que podrían perder sus trabajos o tener que aprender nuevas habilidades.

Disrupción en la cadena de suministro: La interrupción de la producción durante la transición a la nueva maquinaria puede afectar la entrega de botellas a los clientes, lo que puede generar insatisfacción y pérdida de clientes.

4.3. El caso de la fábrica objeto de estudio

En la fábrica de la empresa que se está investigando, el cambio de las máquinas de fabricación de botellas se realiza cada 15 años. El año que viene está previsto cambiar una de las cuatro máquinas que hay en la nave. De entre las posibles causas que se han mencionado anteriormente, dos de las principales razones por las que se van a cambiar las máquinas son, en un primer lugar, el desgaste de estas, lo que provoca que haya un menor rendimiento y una mayor probabilidad de que se produzcan averías, y, en segundo lugar, una modificación que se van a poner en las máquinas la cual consiste en añadir más secciones en cada una. Las secciones son las zonas en la que está dividida la máquina donde se conforman las botellas. Cuantas más secciones haya, la máquina irá a una mayor velocidad, por lo que habrá una mayor extracción de vidrio y, por lo tanto, el horno estará más cerca de trabajar a su máxima capacidad. Esto resulta interesante ya que, el hecho de introducir un mayor número de toneladas de vidrio en el horno no supone un gasto significativo comparándolo con los beneficios que se obtienen al aumentar la producción como consecuencia de este aumento de toneladas, por lo que conviene que el horno trabaje lo más próximo a su máxima capacidad, ya que se obtendrá un mayor rendimiento.

A parte de las ventajas de mejora de rendimiento tanto de la máquina como del horno, así como la reducción de la probabilidad de que se produzcan fallos en la máquina, mencionadas anteriormente, el cambio de máquinas también supone una serie de desventajas a nivel económico, como puede ser el coste de comprar máquinas nuevas, lo que además supone focalizar parte de atención en hacer un análisis exhaustivo para ver cuál puede ser la mejor opción de entre todas las posibles marcas o proveedores. Otros costes pueden ser los costes de instalación de la nueva máquina, en los que se debe tener en cuenta el transporte, el montaje, la puesta en marcha, así como la posible adecuación del espacio y modificaciones de la red eléctrica. También se tienen que ver los costes de desmontaje de la máquina anterior, lo que implica mano de obra, eliminación de residuos y cumplimiento de normas ambientales. Y, por último, los costes de interrupción de la producción, que pueden involucrar una disminución de ingresos y un aumento de costes indirectos por falta de producción.

5. ANÁLISIS DEL PROYECTO

En la empresa objeto de investigación de este proyecto, surge la posible necesidad de cambiar una máquina de fabricación de botellas de vidrio, debido principalmente al desgaste de la máquina y, por consiguiente, a una pérdida del rendimiento de esta.

Después de hacer un estudio exhaustivo de las distintas marcas, se ha decidido cuál es la mejor opción, y el precio de esta máquina es de 3 Millones de €. Esto provoca un escenario de incertidumbre en la empresa ya que no se sabe si merece la pena hacer un cambio de máquina, lo que supondría un desembolso bastante grande y que la fábrica estaría produciendo menos en un largo período de tiempo, o que se posponga el proyecto y una vez terminado el cambio, se esté produciendo con un mayor rendimiento. Es por ello por lo que se quiere hacer un estudio de la rentabilidad de llevar a cabo la inversión y ver si es mejor realizar el cambio o, por lo contrario, dejar que la máquina actual siga en funcionamiento algunos años más.

A continuación, vamos a aplicar los métodos tradicionales y los de valoración de opciones reales. En este caso, hay que decidir entre dos opciones que se han considerado:

- Opción 1: Realizar la inversión
- Opción 2: Aplazar la inversión

La opción de ampliar la inversión se ha descartado por temas de espacio e infraestructura.

5.1. Opciones reales del Proyecto

El proyecto de inversión consiste en cambiar una máquina de fabricación de botellas de vidrio. La viabilidad de este proyecto dependerá del rendimiento, es decir, botellas buenas, que se pueda obtener, por lo que se procede a hacer una gráfica mostrando el rendimiento de la máquina actual desde su año de adquisición hasta ahora:

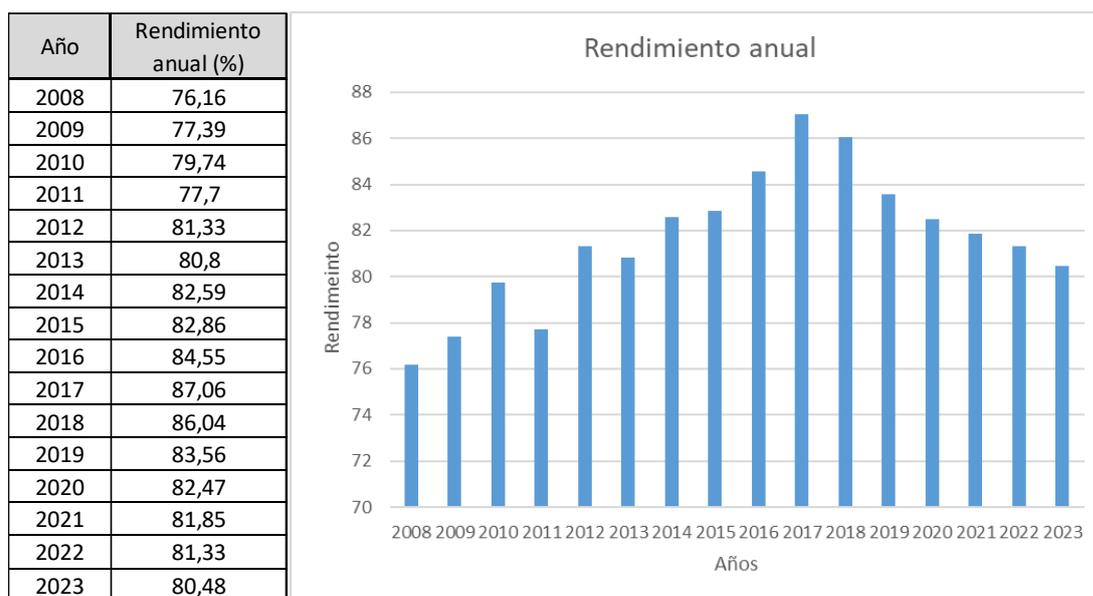


Ilustración 3. Rendimientos anuales de la máquina actual (Elaboración propia)

Como se puede observar en la Ilustración 3, durante los años de vida útil de la máquina, el rendimiento ha ido aumentando hasta llegar a un punto (año 2017) en el que va disminuyendo debido a la obsolescencia y al desgaste de la misma, por lo que, si no se cambia la máquina, puede seguir disminuyendo el rendimiento con el paso de los años y, a su vez, seguir aumentando los costes operativos debido a su antigüedad.

A continuación, se va a elaborar una tabla con los costes operativos y la producción que ha ido teniendo la máquina actual durante los 6 últimos años:

Año	Coste materias primas (€)	Coste personal (€)	Otros costes (moldes, embalajes,...) (€)	Total Costes Directos (€)	Coste energía (€)	Total Costes Indirectos (€)	Coste Total (€)	Volumen de producción (unidades)	Coste Unitario (€/unidad)	Precio medio ventas (€/unidad)	Ingresos (€)	Beneficio económico (€)
2017	1.531.045,01	1.950.071,50	865,74	3.481.982,25	1.319.217,94	1.319.217,94	4.801.200,18	40.450.346,00	0,1187	0,1702	6.884.648,89	2.083.448,71
2018	1.571.402,48	1.825.779,00	888,31	3.398.069,79	1.359.632,24	1.359.632,24	4.757.702,03	42.343.131,71	0,1124	0,1642	6.952.742,23	2.195.040,20
2019	1.612.768,90	1.900.629,00	911,44	3.514.309,33	1.401.056,89	1.401.056,89	4.915.366,23	42.066.774,57	0,1168	0,1752	7.370.098,90	2.454.732,68
2020	1.770.779,00	2.057.187,00	1.024,01	3.828.990,01	1.556.679,00	1.556.679,00	5.385.669,01	43.000.131,71	0,1252	0,1712	7.361.622,55	1.975.953,54
2021	1.970.012,88	2.133.680,13	1.108,92	4.104.801,92	1.690.498,81	1.690.498,81	5.795.300,74	42.614.274,57	0,1360	0,1772	7.551.249,45	1.755.948,72
2022	2.143.177,00	2.314.599,00	1.284,36	4.459.060,36	1.731.648,77	1.731.648,77	6.190.709,13	42.343.131,71	0,1462	0,1792	7.587.889,20	1.397.180,07
2023	2.388.837,75	2.444.964,00	1.309,90	4.835.111,65	1.777.373,84	1.777.373,84	6.612.485,49	41.899.917,43	0,1578	0,1762	7.382.765,45	770.279,97

Tabla 2. Costes, ingresos y beneficio de los últimos años de la máquina actual (Elaboración propia)

En la Tabla 2 se puede ver cómo, efectivamente, los costes operativos van aumentando año tras año ya que la máquina va siendo cada vez más antigua y necesita un mayor número de reparaciones y de piezas que se van quedando obsoletas. Todo esto unido a una bajada del rendimiento debido a la pérdida de eficiencia, hace que se plantee la opción de un cambio de máquina. Ahora se procederá a realizar otra tabla, pero esta vez con una estimación de los costes operativos, del rendimiento económico y del beneficio económico que se obtendrían en los próximos años durante la vida útil de una nueva máquina de fabricación:

Año	Coste materias primas (€)	Coste personal (€)	Otros costes (moldes, embalajes,...) (€)	Total Costes Directos (€)	Coste energía (€)	Total Costes Indirectos (€)	Coste Total (€)	Volumen de producción (unidades)	Coste Unitario (€/unidad)	Precio medio ventas (€/unidad)	Ingresos (€)	Beneficio económico (€)
2024	1.324.930,38	1.763.667,50	740,92	3.089.338,79	1.126.795,88	1.126.795,88	4.216.134,67	40.353.357,14	0,1045	0,1770	7.142.544,21	2.926.409,55
2025	1.358.053,63	1.855.972,50	759,44	3.214.785,58	1.159.965,77	1.159.965,77	4.374.751,35	41.578.714,29	0,1052	0,1710	7.109.960,14	2.735.208,79
2026	1.392.004,98	1.724.862,50	778,43	3.117.645,90	1.193.964,92	1.193.964,92	4.311.610,82	40.515.000,00	0,1064	0,1820	7.373.730,00	3.062.119,18
2027	1.426.805,10	1.722.637,50	797,89	3.150.240,49	1.228.814,04	1.228.814,04	4.379.054,53	42.407.785,71	0,1033	0,1780	7.548.585,86	3.169.531,33
2028	1.462.475,23	1.780.890,00	817,84	3.244.183,06	1.264.534,39	1.264.534,39	4.508.717,45	42.131.428,57	0,1070	0,1840	7.752.182,86	3.243.465,40
2029	1.499.037,11	1.772.085,00	838,28	3.271.960,39	1.301.147,75	1.301.147,75	4.573.108,14	43.064.785,71	0,1062	0,1860	8.010.050,14	3.436.942,00
2030	1.536.513,04	1.780.890,00	859,24	3.318.262,27	1.338.676,44	1.338.676,44	4.656.938,72	43.205.571,43	0,1078	0,1830	7.906.619,57	3.249.680,85
2031	1.574.925,86	1.964.002,50	880,72	3.539.809,08	1.377.143,35	1.377.143,35	4.916.952,44	44.086.785,71	0,1115	0,1870	8.244.228,93	3.327.276,49
2032	1.614.299,01	1.846.917,50	902,74	3.462.119,25	1.416.571,94	1.416.571,94	4.878.691,18	45.395.571,43	0,1075	0,1910	8.670.554,14	3.791.862,96
2033	1.654.656,48	1.722.625,00	925,31	3.378.206,79	1.456.986,24	1.456.986,24	4.835.193,03	44.863.714,29	0,1078	0,1960	8.793.288,00	3.958.094,97
2034	1.696.022,90	1.797.475,00	948,44	3.494.446,33	1.498.410,89	1.498.410,89	4.992.857,23	43.570.571,43	0,1146	0,2080	9.062.678,86	4.069.821,63
2035	1.854.033,00	1.954.033,00	1.061,01	3.809.127,01	1.654.033,00	1.654.033,00	5.463.160,01	43.002.214,29	0,1270	0,2710	11.653.600,07	6.190.440,06
2036	2.053.266,88	2.030.526,13	1.145,92	4.084.938,92	1.787.852,81	1.787.852,81	5.872.791,74	42.678.928,57	0,1376	0,2490	10.627.053,21	4.754.261,48
2037	2.226.431,00	2.211.445,00	1.321,36	4.439.197,36	1.829.002,77	1.829.002,77	6.268.200,13	42.407.785,71	0,1478	0,2260	9.584.159,57	3.315.959,44
2038	2.472.091,75	2.341.810,00	1.346,90	4.815.248,65	1.874.727,84	1.874.727,84	6.689.976,49	41.964.571,43	0,1594	0,2370	9.945.603,43	3.255.626,94

Tabla 3. Estimación del beneficio económico anual de la máquina nueva (Elaboración propia)

En la Tabla 3 están incluidos los distintos gastos y los ingresos anuales, para finalmente obtener el beneficio económico. Se puede ver que, debido al aumento los precios de los distintos costes, tanto directos como indirectos, para la fabricación de las botellas, los precios de venta de estas van aumentando año tras año.

Se observa en la tabla cómo los costes operativos son significativamente más bajos que los de los últimos años de la máquina actual, y que la producción apenas varía si se comparan ambas máquinas, ya que los porcentajes de rendimiento son similares.

Por último, destacar que, como se puede apreciar en la tabla, la empresa ha estimado que va a estar en continuo crecimiento durante todos estos años, por lo que la máquina irá aumentando su rendimiento económico hasta el final de su vida útil.

Ahora se procederá a realizar la Tabla 4, pero esta vez con una estimación de los costes operativos, del rendimiento económico y del beneficio económico que se obtendrían en los próximos años durante la vida útil de la máquina actual:

Año	Coste materias primas (€)	Coste personal (€)	Otros costes (moldes, embalajes,...) (€)	Total Costes Directos (€)	Coste energía (€)	Total Costes Indirectos (€)	Coste Total (€)	Volumen de producción (unidades)	Coste Unitario (€/unidad)	Precio medio ventas (€/unidad)	Ingresos (€)	Beneficio económico (€)
2024	2.489.492,69	2.545.648,64	1.375,42	5.036.516,75	1.143.697,81	1.143.697,81	6.180.214,57	40.353.357,14	0,1532	0,1770	7.142.544,21	962.329,65
2025	2.594.647,23	2.646.607,32	1.404,89	5.242.659,44	1.177.365,26	1.177.365,26	6.420.024,70	41.578.714,29	0,1544	0,1710	7.109.960,14	689.935,44
2026	2.699.801,77	2.747.566,00	1.434,36	5.448.802,13	1.211.874,39	1.211.874,39	6.660.676,52	40.515.000,00	0,1644	0,1820	7.373.730,00	713.053,48
2027	2.804.956,31	2.848.524,67	1.463,83	5.654.944,82	1.247.246,25	1.247.246,25	6.902.191,07	42.407.785,71	0,1628	0,1780	7.548.585,86	646.394,79
2028	2.910.110,85	2.949.483,35	1.493,30	5.861.087,51	1.283.502,41	1.283.502,41	7.144.589,91	42.131.428,57	0,1696	0,1840	7.752.182,86	607.592,95
2029	3.015.265,39	3.050.442,03	1.522,77	6.067.230,19	1.320.664,97	1.320.664,97	7.387.895,16	43.064.785,71	0,1716	0,1860	8.010.050,14	622.154,98
2030	3.120.419,93	3.151.400,71	1.552,24	6.273.372,88	1.358.756,59	1.358.756,59	7.632.129,47	43.205.571,43	0,1766	0,1830	7.906.619,57	274.490,10
2031	3.225.574,47	3.252.359,39	1.581,71	6.479.515,57	1.397.800,50	1.397.800,50	7.877.316,07	44.086.785,71	0,1787	0,1870	8.244.228,93	366.912,85
2032	3.330.729,01	3.353.318,06	1.611,18	6.685.658,26	1.437.820,52	1.437.820,52	8.123.478,78	45.395.571,43	0,1789	0,1910	8.670.554,14	547.075,37
2033	3.435.883,55	3.454.276,74	1.640,65	6.891.800,95	1.478.841,03	1.478.841,03	8.370.641,98	44.863.714,29	0,1866	0,1960	8.793.288,00	422.646,02
2034	3.541.038,09	3.555.235,42	1.670,12	7.097.943,63	1.520.887,06	1.520.887,06	8.618.830,69	43.570.571,43	0,1978	0,2080	9.062.678,86	443.848,17
2035	3.646.192,63	3.656.194,10	1.699,59	7.304.086,32	1.678.843,50	1.678.843,50	8.982.929,82	43.002.214,29	0,2089	0,2110	11.653.600,07	2.670.670,25
2036	3.751.347,17	3.757.152,78	1.729,06	7.510.229,01	1.814.670,61	1.814.670,61	9.324.899,62	42.678.928,57	0,2185	0,2490	10.627.053,21	1.302.153,60
2037	3.756.501,71	3.758.111,45	1.758,53	7.516.371,70	1.856.437,81	1.856.437,81	9.372.809,51	42.407.785,71	0,2210	0,2260	9.584.159,57	211.350,06
2038	3.761.656,25	3.759.070,13	1.788,00	7.522.514,39	1.902.848,75	1.902.848,75	9.425.363,14	41.964.571,43	0,2246	0,2370	9.945.603,43	520.240,29

Tabla 4. Estimación del beneficio económico anual de la máquina actual (Elaboración propia)

Como se puede observar, durante estos años el beneficio económico es bastante menor que el que se tendría con la máquina nueva ya que los costes tanto directos como indirectos no paran de aumentar debido a que cada vez hay más desgaste de la máquina y se necesita un mayor número de operarios (trabajadores temporales).

La diferencia de beneficio entre la máquina nueva y la antigua durante los próximos años se ve reflejada en la Tabla 5:

Año	Coste total máquina nueva (€)	Coste total máquina antigua (€)	Diferencia costes totales (€)	Ingresos(€)	Beneficio económico maquina nueva (€)	Beneficio económico maquina antigua (€)	Diferencia (€)
2024	4.216.134,67	6.180.214,57	-1.964.079,90	7.142.544,21	2.926.409,55	962.329,65	1.964.079,90
2025	4.374.751,35	6.420.024,70	-2.045.273,35	7.109.960,14	2.735.208,79	689.935,44	2.045.273,35
2026	4.311.610,82	6.660.676,52	-2.349.065,70	7.373.730,00	3.062.119,18	713.053,48	2.349.065,70
2027	4.379.054,53	6.902.191,07	-2.523.136,54	7.548.585,86	3.169.531,33	646.394,79	2.523.136,54
2028	4.508.717,45	7.144.589,91	-2.635.872,46	7.752.182,86	3.243.465,40	607.592,95	2.635.872,46
2029	4.573.108,14	7.387.895,16	-2.814.787,02	8.010.050,14	3.436.942,00	622.154,98	2.814.787,02
2030	4.656.938,72	7.632.129,47	-2.975.190,75	7.906.619,57	3.249.680,85	274.490,10	2.975.190,75
2031	4.916.952,44	7.877.316,07	-2.960.363,64	8.244.228,93	3.327.276,49	366.912,85	2.960.363,64
2032	4.878.691,18	8.123.478,78	-3.244.787,59	8.670.554,14	3.791.862,96	547.075,37	3.244.787,59
2033	4.835.193,03	8.370.641,98	-3.535.448,95	8.793.288,00	3.958.094,97	422.646,02	3.535.448,95
2034	4.992.857,23	8.618.830,69	-3.625.973,46	9.062.678,86	4.069.821,63	443.848,17	3.625.973,46
2035	5.463.160,01	8.982.929,82	-3.519.769,81	11.653.600,07	6.190.440,06	2.670.670,25	3.519.769,81
2036	5.872.791,74	9.324.899,62	-3.452.107,88	10.627.053,21	4.754.261,48	1.302.153,60	3.452.107,88
2037	6.268.200,13	9.372.809,51	-3.104.609,37	9.584.159,57	3.315.959,44	211.350,06	3.104.609,37
2038	6.689.976,49	9.425.363,14	-2.735.386,65	9.945.603,43	3.255.626,94	520.240,29	2.735.386,65

Tabla 5. Diferencia beneficio entre la máquina nueva y la antigua durante los próximos años (Elaboración propia)

Todo esto hace que la idea de invertir en una nueva máquina coja fuerza, por lo que más adelante se estudiará la viabilidad las distintas opciones que hay para ello.

En nuestro caso no consideramos que la opción sea compuesta, ya que no genera nuevas posibilidades de opciones, solo tenemos la opción de comprar la máquina.

Tampoco es una opción arcoíris, ya que consideramos sólo una variable con incertidumbre que es el rendimiento económico de la inversión, medido como producción vendida en euros por botella. Si bien el precio por botella y las unidades producidas son también inciertos, resulta que una mayor cantidad de botellas producidas va asociada a un precio inferior de mercado y viceversa, como veremos posteriormente.

Por tanto, lo que realmente importa es la combinación de ambas variables, o, en otras palabras, los ingresos, que se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Ingresos (€)} = N.^{\circ} \text{ Unidades buenas producidas} \times \text{Precio (€) / Unidad}$$

Con respecto a los costes de producción los consideramos ciertos y conocidos ya que son datos facilitados por la empresa, lo que hará que el estudio del proyecto resulte de menor dificultad.

También se considera que la opción no se podrá ejecutar hasta la finalización de la campaña, que será cuando se conozcan los resultados del rendimiento, siendo por tanto una opción europea.

5.2. Volatilidad del proyecto

Para calcular los flujos de caja del proyecto, vamos a considerar la volatilidad del precio de las botellas de vidrio como el factor de incertidumbre. Para ello, se cogerán los precios medios anuales de las botellas durante la vida útil de la máquina actual. Los datos disponibles del precio de venta de las botellas durante los últimos años se muestran en la Tabla 6:

Año	Precio medio ventas (€/unidad)
2008	0,173
2009	0,315
2010	0,146
2011	0,382
2012	0,164
2013	0,328
2014	0,083
2015	0,251
2016	0,392
2017	0,1702
2018	0,1642
2019	0,175
2020	0,1712
2021	0,1772
2022	0,1792
2023	0,1762

Tabla 6. Precio medio de venta mensual en el último año. (Elaboración propia)

Para realizar el cálculo de la volatilidad histórica de los precios de las botellas de vidrio, se utilizará el método de flujos de caja logarítmicos. Para ello, se calculará las variaciones de precios anuales, para así posteriormente, calcular las desviaciones típicas y después la volatilidad anual. A continuación, se verán las fórmulas y nomenclaturas que se utilizará para el cálculo:

t: corresponde a los meses ($t=1, \dots, 12$)

n: número de periodos

P_t : precio de las botellas en t

u_t : variación de precios mensuales

\bar{u} : media aritmética de u

Δt : intervalo de tiempo con el año como unidad de medida

Primero se calcula $u_t = \ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$

Después, se estima la desviación típica (S) mediante la siguiente fórmula:

$$S = \frac{\sqrt{\sum_{t=1}^n (u_t - \bar{u})^2}}{n-1} \quad (4)$$

Siendo \bar{u} :

$$\bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n u_t \quad (5)$$

Finalmente se calcula la volatilidad anual: $\sigma = \frac{S}{\sqrt{\Delta t}} \quad (6)$

Año	Variación precios (Ut)	Año	(Ut-Umedia)^2
U ₂₀₀₉	0,599281044	2009	0,36018319
U ₂₀₁₀	-0,768966017	2010	0,589969042
U ₂₀₁₁	0,961813987	2011	0,926763528
U ₂₀₁₂	-0,845554181	2012	0,713488672
U ₂₀₁₃	0,693147181	2013	0,48166206
U ₂₀₁₄	-1,374173001	2014	1,885956753
U ₂₀₁₅	1,106612331	2015	1,226520645
U ₂₀₁₆	0,445808901	2016	0,199523465
U ₂₀₁₇	-0,834287624	2017	0,694582278
U ₂₀₁₈	-0,035889019	2018	0,00122622
U ₂₀₁₉	0,064842981	2019	0,004318405
U ₂₀₂₀	-0,023095715	2020	0,000493912
U ₂₀₂₁	0,034446574	2021	0,001247373
U ₂₀₂₂	0,011223462	2022	0,00014629
U ₂₀₂₃	-0,016882787	2023	0,000256358
U _{media}	-0,000871594	Desviación típica	0,19014

Tabla 7. Variaciones de precio anuales y volatilidad anual (Elaboración propia)

Por lo que la volatilidad anual de los precios de venta de las botellas de vidrio es $\sigma=0,19$ en la actualidad. Este valor nos indica la volatilidad que ha ido teniendo el precio de las botellas durante los últimos años, los cuales, no puede aumentar excesivamente ya que es inversamente proporcional a la demanda.

5.3. Opción 1: Realizar la inversión

En primer lugar, se empezará utilizando los métodos tradicionales, por lo que se procede a calcular el VAN. Para ello, se deben determinar los parámetros necesarios.

- Inversión inicial.

La inversión se divide en 2 partes:

- Compra de la máquina: Después de sondear el mercado y las distintas marcas, se ha llegado a una decisión de cuál será la máquina que se va a comprar, la cual su precio asciende a los 3 Millones de €.
 - Gasto de instalación, utillaje y puesta a punto de la máquina: El coste asciende a unos 704.400€, lo que viene siendo un 23,48% del precio de la máquina.
- Ahorro de máquina en costes operativos.

Es un factor muy a tener en cuenta, ya que puede resultar mucho más rentable adquirir una nueva máquina debido a los altos costes operativos que puede suponer seguir con la máquina antigua. Como se puede ver en la Tabla 3, para calcular el beneficio económico anual se utilizan los ingresos y los costes directos e indirectos anuales. Estos costes son los de energía (indirectos), materias primas, personal u otros como embalajes y moldes (todos estos últimos directos), y van aumentando a medida que van pasando los años ya sea porque la máquina vaya teniendo más fallos y más desgaste y por ende necesite un mayor número de reparaciones, o también por obsolescencia de esta y mayor dificultad de encontrar piezas de repuesto.

- Cash Flow.

Para su cálculo necesitaremos determinar una serie de parámetros:

- Rendimiento técnico (botellas buenas al año): Se hace una estimación de los rendimientos en todos los años de vida útil de la máquina, obteniendo el número de botellas buenas producidas. Estos datos proporcionados por la empresa se pueden ver reflejados en la Tabla 8:

Año	Vidrio fundido (Kg)	Vidrio medio por botella (kg)	Rendimiento anual (%)	Botellas buenas (unidades)
2024	97.000	0,75	77,39	36.533.239
2025	100.000	0,72	79,74	40.423.750
2026	103.750	0,70	77,70	42.034.313
2027	101.000	0,77	80,80	38.684.312
2028	102.500	0,71	81,33	42.855.755
2029	98.750	0,78	82,59	38.164.786
2030	101.250	0,77	82,86	39.768.765
2031	98.000	0,69	84,55	43.831.210
2032	103.000	0,79	87,06	41.430.642
2033	99.250	0,76	86,04	41.011.928
2034	100.250	0,73	83,56	41.884.450
2035	101.250	0,71	82,47	42.926.506
2036	103.500	0,66	81,85	46.849.824
2037	96.250	0,67	81,33	42.645.143
2038	104.500	0,69	80,48	44.488.528

Tabla 8. Rendimiento técnico de la máquina (Elaboración propia)

Este dato no es significativo sin tener en cuenta la evolución del precio, así para determinar el cash flow esperado se toma el rendimiento económico que es un indicador mixto de ambos parámetros.

- Precio por botella: Atendiendo a los precios medios de los años anteriores, la empresa ha hecho una estimación de los precios medios en los años de vida de la nueva máquina. Los datos disponibles del precio de venta de las botellas durante los próximos años se muestran en la Tabla 9:

Año	Precio medio ventas (€/unidad)
2024	0,177
2025	0,171
2026	0,182
2027	0,178
2028	0,184
2029	0,186
2030	0,183
2031	0,187
2032	0,191
2033	0,196
2034	0,208
2035	0,271
2036	0,249
2037	0,226
2038	0,237

Tabla 9. Tabla de precios por unidades fabricadas. (Elaboración propia)

- Ingresos: Una vez obtenidos los datos del número medio de botellas al año y el precio medio por botella (ya que existen distintos modelos de botellas, las cuales, tienen un precio distinto), se pueden calcular los ingresos anuales que se obtendrían con la nueva máquina multiplicando ambos parámetros.

Año	Ingresos (€)
2024	7.142.544,21
2025	7.109.960,14
2026	7.373.730,00
2027	7.548.585,86
2028	7.752.182,86
2029	8.010.050,14
2030	7.906.619,57
2031	8.244.228,93
2032	8.670.554,14
2033	8.793.288,00
2034	9.062.678,86
2035	11.653.600,07
2036	10.627.053,21
2037	9.584.159,57
2038	9.945.603,43

Tabla 10. Ingreso anual (Elaboración propia)

- Cash Flow neto: Se determina el cash Flow neto tanto de la máquina nueva como el de la actual mediante la cuenta de pérdidas y ganancias. En primer lugar, se calcula el EBITDA, que se obtiene como resultado de restar los costes a los ingresos. Una vez obtenido el EBITDA, se le restan los gastos de amortización y los financieros (dato proporcionado por la empresa y sacado de la financiación externa) para así obtener el BAI (Beneficio antes de impuestos). Por último, al BAI se le quitan los impuestos (el impuesto de sociedades se establecerá en un 25%) y se obtiene el BDI (beneficio después de impuestos), o lo que es lo mismo, el cash Flow neto. En la Tabla 11 y Tabla 12, se muestran las cuentas de pérdidas y ganancias de la máquina nueva y de la actual respectivamente

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ingresos	-	7.142.544,21	7.109.960,14	7.373.730,00	7.548.585,86	7.752.182,86	8.010.050,14	7.906.619,57
Costes	-	5.966.134,67	6.124.751,35	6.061.610,82	6.129.054,53	6.258.717,45	6.323.108,14	6.406.938,72
EBITDA	-	1.176.409,55	985.208,79	1.312.119,18	1.419.531,33	1.493.465,40	1.686.942,00	1.499.680,85
Amortización	-	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33
Gastos financieros	-	88.440,00	81.840,00	76.440,00	70.320,00	64.440,00	58.440,00	52.440,00
BAI	-	954.636,21	770.035,46	1.102.345,85	1.215.878,00	1.295.692,07	1.495.168,67	1.313.907,52
Impuestos	-	185.139,08	118.690,53	125.820,04	110.685,36	102.454,90	107.595,41	22.179,19
BDI	-	769.497,13	651.344,93	976.525,81	1.105.192,63	1.193.237,17	1.387.573,26	1.291.728,33
Cash Flow	-3.000.000,00	902.830,47	784.678,27	1.109.859,14	1.238.525,97	1.326.570,50	1.520.906,59	1.425.061,66
Año	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ingresos	8.244.228,93	8.670.554,14	8.793.288,00	9.062.678,86	11.653.600,07	10.627.053,21	9.584.159,57	9.945.603,43
Costes	6.666.952,44	6.628.691,18	6.585.193,03	6.742.857,23	7.213.160,01	7.622.791,74	8.018.200,13	8.439.976,49
EBITDA	1.577.276,49	2.041.862,96	2.208.094,97	2.319.821,63	4.440.440,06	3.004.261,48	1.565.959,44	1.505.626,94
Amortización	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33	133.333,33
Gastos financieros	46.440,00	40.440,00	34.440,00	28.440,00	22.440,00	16.440,00	10.440,00	4.440,00
BAI	1.397.503,16	1.868.089,63	2.040.321,64	2.158.048,30	4.284.666,73	2.854.488,15	1.422.186,11	1.367.853,61
Impuestos	46.784,88	93.325,51	63.718,17	70.518,71	628.724,23	288.095,07	16.894,18	95.616,74
BDI	1.350.718,28	1.774.764,12	1.976.603,47	2.087.529,59	3.655.942,50	2.566.393,08	1.405.291,92	1.272.236,87
Cash Flow	1.484.051,61	1.908.097,45	2.109.936,80	2.220.862,92	3.789.275,83	2.699.726,41	1.538.625,26	1.405.570,20

Tabla 11. Cuenta de pérdidas y ganancias máquina nueva (Elaboración propia)

Año	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Ingresos	-	7.142.544,21	7.109.960,14	7.373.730,00	7.548.585,86	7.752.182,86	8.010.050,14	7.906.619,57
Costes	-	6.180.214,57	6.420.024,70	6.660.676,52	6.902.191,07	7.144.589,91	7.387.895,16	7.632.129,47
EBITDA	-	962.329,65	689.935,44	713.053,48	646.394,79	607.592,95	622.154,98	274.490,10
Amortización	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos financieros	-	88.440,00	81.840,00	76.440,00	70.320,00	64.440,00	58.440,00	52.440,00
BAI	-	873.889,65	608.095,44	636.613,48	576.074,79	543.152,95	563.714,98	222.050,10
Impuestos	-	218.472,41	152.023,86	159.153,37	144.018,70	135.788,24	140.928,75	55.512,52
BDI	-	655.417,24	456.071,58	477.460,11	432.056,09	407.364,71	422.786,24	166.537,57
Cash Flow	-	655.417,24	456.071,58	477.460,11	432.056,09	407.364,71	422.786,24	166.537,57
Año	2031	2032	2033	2034	2035	2036	2037	2038
Ingresos	8.244.228,93	8.670.554,14	8.793.288,00	9.062.678,86	11.653.600,07	10.627.053,21	9.584.159,57	9.945.603,43
Costes	7.877.316,07	8.123.478,78	8.370.641,98	8.618.830,69	8.982.929,82	9.324.899,62	9.372.809,51	9.425.363,14
EBITDA	366.912,85	547.075,37	422.646,02	443.848,17	2.670.670,25	1.302.153,60	211.350,06	520.240,29
Amortización	-	-	-	-	-	-	-	-
Gastos financieros	46.440,00	40.440,00	34.440,00	28.440,00	22.440,00	16.440,00	10.440,00	4.440,00
BAI	320.472,85	506.635,37	388.206,02	415.408,17	2.648.230,25	1.285.713,60	200.910,06	515.800,29
Impuestos	80.118,21	126.658,84	97.051,51	103.852,04	662.057,56	321.428,40	50.227,52	128.950,07
BDI	240.354,64	379.976,53	291.154,52	311.556,13	1.986.172,69	964.285,20	150.682,55	386.850,22
Cash Flow	240.354,64	379.976,53	291.154,52	311.556,13	1.986.172,69	964.285,20	150.682,55	386.850,22

Tabla 12. Cuenta de pérdidas y ganancias máquina actual (Elaboración propia)

Gracias a estos datos, se podrá hacer una comparación entre las estimaciones de lo que se ganará con cada máquina durante los próximos años. Una vez hecho esto, se procederá a calcular el $VA_{DIFERENCIA}$ mediante la siguiente fórmula:

$$VA_{DIFERENCIA} = \sum \frac{CFi_{nueva} - CFi_{actual}}{(1+r)^i} \quad (7)$$

Siendo CFi_{nueva} los cash Flow anuales de la máquina nueva y CFi_{actual} los cash Flow anuales de la máquina actual.

- Tasa de descuento.

Para establecer la tasa de descuento la empresa ha calculado el coste ponderado de financiación. En concreto la financiación ajena será un 30% del total y la financiación propia un 70%. El dato proporcionado por la empresa es una tasa de descuento del 7%.

Ya obtenido este dato, se podrá calcular el $VA_{DIFERENCIA}$ el cual queda reflejado en la Tabla 13:

VA_Diferencia	6.247.066,35 €
---------------	----------------

Tabla 13. $VA_{DIFERENCIA}$ (Elaboración propia)

Al ser el $VA_{DIFERENCIA}$ mayor que la inversión, indicará que la inversión es rentable. Ahora se procederá a realizar los cálculos del VAN y la TIR:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+i)^t} \quad (8)$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t} = 0 \quad (9)$$

Donde:

VAN = Valor Actual Neto

TIR = Tasa Interna de Retorno

I_0 = Inversión inicial

F_t = Flujo de caja, es decir, ingresos menos gastos, ambos en el periodo t

n = Plazo de inversión/horizonte temporal

t = Intervalo de tiempo

i = Tasa de descuento en %

Sustituyendo los datos en la fórmula anterior obtenemos un VAN igual a 11.164.937,86€, y una TIR igual a 38%, por lo que, al ser ambos números positivos, la inversión sería rentable, ya que implica que al final del horizonte temporal se obtendrían beneficios y, por lo tanto, sería viable realizar el proyecto.

VAN	11.164.937,86 €
TIR	38%

Tabla 14. Valores del VAN y TIR calculados (Elaboración propia)

Observando los cash Flow netos en la Tabla 14, se calcula el plazo de recuperación de la inversión que será de 37,96 meses, o lo que es lo mismo, 3 años, 1 mes y 29 días.

5.4. Opción 2: Aplazar la inversión

La opción de aplazar o diferir la inversión se basa en el derecho del inversor a posponer la inversión del proyecto con el objetivo de obtener más información en el futuro. En el análisis de las métricas clásicas ha quedado constancia de que la inversión es viable, pero será necesario analizar nuevos escenarios por si se pudiera aumentar el beneficio de la inversión. En este caso se va a plantear un aplazamiento de 1,2,3 y hasta 4 años.

Del apartado anterior se tiene que el VAN es 11.164.937,86€ y la TIR igual a 38%, positivos ambos, por lo que sería rentable realizar la inversión. En este apartado se va a observar si es mejor realizar la inversión dentro de unos años o realizarla ya.

Partiendo de los valores de los ingresos calculados anteriormente, se calculará el árbol binomial de la evolución de los ingresos optando por la opción de diferir para los siguientes 4 años. Para ello se necesitará calcular el coeficiente de ascenso “ u ” y el coeficiente de descenso “ d ” mediante las siguientes fórmulas:

- Coeficiente de ascenso: $u=e^{\sigma\sqrt{h}}$, siendo $\sigma = 0,19$ la volatilidad calculada anteriormente y $h=1$ debido a que el árbol binomial se realiza cada año.
- Coeficiente de descenso: $d=e^{-\sigma\sqrt{h}} = \frac{1}{u}$, siendo u el coeficiente de ascenso.

Como se muestra a continuación estos parámetros se multiplican por el valor de los ingresos construyendo el árbol binomial:

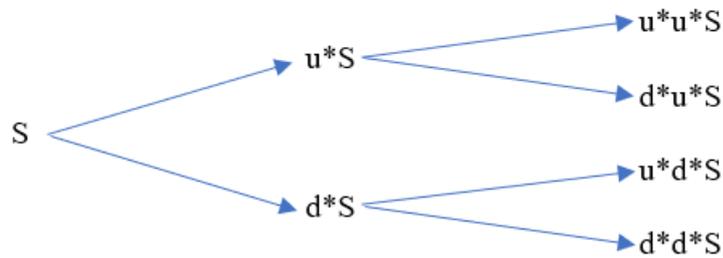


Ilustración 4. Ascenso y descenso de un árbol binomial (Elaboración propia)

- Probabilidad de ascenso: $p = \frac{1+Rf-d}{u-d}$
- Probabilidad de descenso: $q = 1-p$
- Tasa libre de riesgo (Rf):
- Valor del proyecto: $C = \frac{p \times Cu + (1-p) \times Cd}{1+Rf}$ siendo Cu el precio de la opción en el caso de ascenso y Cd el precio de la opción en el caso de descenso. Este valor irá variando con los años en el cálculo de la opción.

Partiendo del valor actual de los ingresos calculados anteriormente, cuyo valor es VAIngresos=7.382.765,45€ (Tabla 2), se procede a calcular el árbol binomial de la evolución de los ingresos optando por la opción de diferir para los siguientes 4 años. El coeficiente de ascenso es $u=1,209$ y el coeficiente de descenso es $d=0,827$

	2023	2024	2025	2026	2027
					S4 15.786.391,81
				S3 13.054.700,90	
			S2 10.795.704,15		S4 10.795.704,15
		S1 8.927.606,15		S3 8.927.606,15	
S0	7.382.765,45		S2 7.382.765,45		S4 7.382.765,45
		S1 6.105.245,32		S3 6.105.245,32	
			S2 5.048.788,38		S4 5.048.788,38
				S3 4.175.141,67	
					S4 3.452.671,54

Ilustración 5. Evolución de los ingresos. (Elaboración propia)

Se han multiplicado los ingresos del proyecto por los coeficientes de ascenso y de descenso para ir obteniendo los ingresos totales que se obtendrían por cada año en que se prorroga la inversión.

El siguiente paso es la obtención de los flujos de caja. Para ello hay que restar al árbol de los ingresos los costes totales del proyecto. Los costes totales están constituidos por los costes de inversión para cada año $I_0(i)$, donde i es el año de la inversión, más los costes directos e indirectos todos ellos calculados previamente (Tabla 3). Por lo que quedaría la siguiente fórmula:

$$CT(i) = I_0(i) + C_{D+i}(i) \quad (10)$$

A continuación, se hará un desglose por años de los distintos parámetros de la fórmula:

Año	Inversión	Costes Directos + Indirectos	Costes Totales (CT)
2023	3.000.000,00	6.812.485,49	9.812.485,49
2024		4.216.134,67	4.216.134,67
2025		4.374.751,35	4.374.751,35
2026		4.311.610,82	4.311.610,82
2027		4.379.054,53	4.379.054,53

Tabla 15. Costes totales por año (Elaboración propia)

El coste de inversión irá pasando de año en año a medida que aumenten los años de la opción de diferir.

Para calcular la variación del activo subyacente de cada año se utilizará la función $Max(S_i - CT_i; 0)$, obteniéndose el siguiente árbol:

								S4	15.786.391,81
								S-CT	8.407.337,28
						S3	13.054.700,90		
						S-CT	5.743.090,08		
				S2	10.795.704,15			S4	10.795.704,15
				S-CT	3.420.952,80			S-CT	3.416.649,62
		S1	8.927.606,15			S3	8.927.606,15		
		S-CT	1.711.471,48			S-CT	1.615.995,33		
S0	7.382.765,45			S2	7.382.765,45			S4	7.382.765,45
S-CT	0,00			S-CT	8.014,10			S-CT	3.710,92
		S1	6.105.245,32			S3	6.105.245,32		
		S-CT	0,00			S-CT	0,00		
				S2	5.048.788,38			S4	5.048.788,38
				S-CT	0,00			S-CT	0,00
						S3	4.175.141,67		
						S-CT	0,00		
								S4	3.452.671,54
								S-CT	0,00

Ilustración 6. Evaluación del activo subyacente restando los costes totales (Elaboración propia)

Se puede apreciar en la tabla que en el cuarto año se obtienen tres valores positivos de los cinco escenarios posibles de la opción.

Una vez realizado el árbol binomial, se calcula el valor del proyecto si se esperase a realizar la inversión hasta dentro de 4 años mediante la siguiente fórmula:

$$C = \frac{p \times C_u + (1-p) \times C_d}{1 + R_f} \quad (11)$$

Siendo:

- p = probabilidad de ascenso
- $q = 1 - p$ = probabilidad de descenso
- C_u = precio de la opción en el caso de ascenso
- C_d = precio de la opción en el caso descenso
- R_f = Tasa libre de riesgo

Se aplica esta fórmula en todos los escenarios realizando los cálculos de derecha a izquierda hasta llegar a C0. Se realizan estos cálculos para las opciones de diferir diferir 1, 2, 3 y 4, y se obtienen los árboles binomiales con los valores que tendría el proyecto en cada uno de ellos:

	2023	2024	2025	2026	2027
					S4 15.786.391,81
					S-CT 8.407.337,28
					C41 7.929.847,91
				S3 13.054.700,90	
				S-CT 5.743.090,08	
				C31 5.616.110,51	
			S2 10.795.704,15		S4 10.795.704,15
			S-CT 3.420.952,80		S-CT 3.416.649,62
			C21 3.654.059,14		C42 3.416.649,62
		S1 8.927.606,15		S3 8.927.606,15	
		S-CT 1.711.471,48		S-CT 1.615.995,33	
		C11 2.260.427,63		C32 1.730.634,99	
S0 7.382.765,45			S2 7.382.765,45		S4 7.382.765,45
S-CT 0,00			S-CT 8.014,10		S-CT 3.710,92
C0 1.352.207,91			C22 876.617,38		C43 3.710,92
		S1 6.105.245,32		S3 6.105.245,32	
		S-CT 0,00		S-CT 0,00	
		C12 444.031,97		C33 1.877,80	
			S2 5.048.788,38		S4 5.048.788,38
			S-CT 0,00		S-CT 0,00
			C23 950,21		C44 0,00
				S3 4.175.141,67	
				S-CT 0,00	
				C34 0,00	
					S4 3.452.671,54
					S-CT 0,00
					C45 0,00

Ilustración 7. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al cuarto año (Elaboración propia)

2023		2024		2025		2026	
						S3	13.054.700,90
						S-CT	5.445.807,88
						C31	5.445.807,88
				S2	10.795.704,15		
				S-CT	3.256.430,90		
				C21	3.565.188,35		
		S1	8.927.606,15			S3	8.927.606,15
		S-CT	1.643.183,87			S-CT	1.724.894,09
		C11	2.213.680,31			C32	1.724.894,09
S0	7.382.765,45			S2	7.382.765,45		
S-CT	0,00			S-CT	155.669,41		
C0	1.327.444,40			C22	872.831,11		
		S1	6.105.245,32			S3	6.105.245,32
		S-CT	0,00			S-CT	0,00
		C12	441.670,10			C33	0,00
				S2	5.048.788,38		
				S-CT	0,00		
				C23	0,00		
						S3	4.175.141,67
						S-CT	0,00
						C34	0,00

Ilustración 8. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al tercer año (Elaboración propia)

2023		2024		2025	
				S2	10.795.704,15
				S-CT	3.256.430,90
				C21	3.256.430,90
		S1	8.927.606,15		
		S-CT	1.643.183,87		
		C11	1.720.875,85		
S0	7.382.765,45			S2	7.382.765,45
S-CT	0,00			S-CT	155.669,41
C0	907.765,76			C22	155.669,41
		S1	6.105.245,32		
		S-CT	0,00		
		C12	78.771,85		
				S2	5.048.788,38
				S-CT	0,00
				C23	0,00

Ilustración 9. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al segundo año (Elaboración propia)

2023		2024	
		S1	8.927.606,15
		S-CT	1.643.183,87
		C11	1.643.183,87
S0	7.382.765,45		
S-CT	0,00		
C0	831.484,10		
		S1	6.105.245,32
		S-CT	0,00
		C12	0,00

Ilustración 10. Árbol binomial para el cálculo del valor de la opción al primer año (Elaboración propia)

Una vez obtenidos los resultados, hay que analizar en qué año es más conveniente realizar la inversión.

Al examinar los resultados del árbol binomial, observamos que incluso en los escenarios más desfavorables, la adquisición de la máquina sigue siendo una opción rentable para la empresa. Los ahorros en costes operativos, el incremento en la eficiencia de la producción y la mejora en la calidad del producto son factores clave que contribuyen a la rentabilidad del proyecto.

El valor actual de la opción C0 en el escenario de aplazar la inversión 4 años es igual a 1.149.272,97€, y el VAN del proyecto calculado anteriormente por el método tradicional es igual a 11.164.937,86€, por lo que el valor actual de la opción de diferir es la diferencia entre ambos valores:

$$VANOPCION\ DIFERIR = C0 - VANPROYECTO \quad (12)$$

Por lo tanto, el *VANOPCION DIFERIR* sería igual a -10.015.664,89€, que es menor que el VAN calculado por los métodos tradicionales, de hecho, el *VANOPCION DIFERIR* da un número negativo, por lo que no sería rentable la opción de diferir.

El valor actual de la opción C0 en el escenario de aplazar la inversión 3 años es igual a 1.327.444,40€, y el VAN del proyecto calculado anteriormente por el método tradicional es igual a 11.164.937,86€, por lo que el valor actual de la opción de diferir es la diferencia entre ambos valores:

$$VANOPCION\ DIFERIR = C0 - VANPROYECTO \quad (12)$$

Por lo tanto, el *VANOPCION DIFERIR* sería igual a -9.837.493,46€, que es menor que el VAN calculado por los métodos tradicionales, de hecho, el *VANOPCION DIFERIR* da un número negativo, por lo que no sería rentable la opción de diferir.

El valor actual de la opción C0 en el escenario de aplazar la inversión 2 años es igual a 907.765,76€, y el VAN del proyecto calculado anteriormente por el método tradicional es igual a 11.164.937,86€, por lo que el valor actual de la opción de diferir es la diferencia entre ambos valores:

$$VANOPCION\ DIFERIR = C0 - VANPROYECTO \quad (12)$$

Por lo tanto, el *VANOPCION DIFERIR* sería igual a -10.257.172,10€, que es menor que el VAN calculado por los métodos tradicionales, de hecho, el *VANOPCION DIFERIR* da un número negativo, por lo que no sería rentable la opción de diferir.

El valor actual de la opción C0 en el escenario de aplazar la inversión 1 año es igual a 831.484,10€, y el VAN del proyecto calculado anteriormente por el método tradicional es igual a -10.333.453,76€, por lo que el valor actual de la opción de diferir es la diferencia entre ambos valores:

$$VAN_{OPCION\ DIFERIR} = C0 - VAN_{PROYECTO} \quad (11)$$

Por lo tanto, el $VAN_{OPCION\ DIFERIR}$ sería igual a 212.870,27€, que es menor que el VAN calculado por los métodos tradicionales, de hecho, el $VAN_{OPCION\ DIFERIR}$ da un número negativo, por lo que no sería rentable la opción de diferir.

En resumen, en este apartado se puede observar en un primer lugar que la inversión es rentable, por lo que debería llevarse a cabo el proyecto, y, en un segundo lugar que la inversión debe realizarse hoy, ya que los $VAN_{OPCION\ DIFERIR}$ en los escenarios de aplazar la inversión 1,2,3 y 4 años son menores que el $VAN_{PROYECTO}$ que es igual a 11.164.937,86€.

6. Conclusiones

Después de completar este trabajo de fin de grado, se puede confirmar la idea de que es fundamental evaluar diferentes opciones y alternativas concretas para realizar un análisis adecuado de los proyectos, especialmente cuando se trata de situaciones en las que hay flexibilidad en el presupuesto de inversión o en el factor tiempo. Incluso la gestión de estas alternativas puede tener un valor estratégico significativo. Por lo tanto, es esencial considerar tanto la evaluación como la gestión de estas opciones en los resultados de un proyecto, y deben ser tenidas en cuenta en las negociaciones. Sin embargo, a pesar de los esfuerzos y contribuciones de la comunidad científica, no existe un método único y definitivo que se pueda aplicar de manera general, como sí sucede en el análisis tradicional. Esto probablemente se debe a que aún no se ha encontrado un enfoque que resuelva completamente esta cuestión de manera satisfactoria.

Se ha comprobado en este caso que llevar a cabo el proyecto e invertir en la máquina nueva es más rentable que continuar con la máquina actual ya que, aunque se ahorre una gran cantidad de dinero al no realizar la inversión, los costes tanto directos como indirectos de la máquina actual irían aumentando año tras año, y esto a la larga generaría mucho menos beneficio que la nueva máquina, la cual, haría que estos costes fuesen mucho más bajos, pese a tener que hacer un desembolso inicial importante.

Por otro lado, aunque la inversión es rentable, de no ser por la aplicación de otros métodos distintos a los tradicionales, en este caso el método binomial, no se hubiese tenido la oportunidad de analizar nuevos escenarios por si se hubiese podido aumentar el beneficio de la inversión, cosa que al final no sucede.

7. Bibliografía

Amram, M. y Kulatilaka, N. Opciones Reales-Evaluación de Inversiones en un mundo incierto. Gestión-2000, 2000.

Black, F. y Scholes, M. The pricing of Options and Corporate Liabilities. The Journal of Political Economy, 1973.

Calle Fernández, Ana, and Tamayo Bustamante, Víctor. Decisiones de inversión a través de opciones reales. Estudios gerenciales 25.111, 2009.

Collura, Meredith, and Lynda M. Applegate. Amazon. com: exploiting the value of digital business infrastructure. Harvard Business School Press, 2000.

Concha, Ignacio Andrés Garrido, and Alejandro Andalaft Chacur. Evaluación económica de proyectos de inversión basada en la teoría de opciones reales. Revista Ingeniería Industrial 2, 2003.

Cox, Ross y Rubinstein. Option pricing: A simplified approach. Journal of Financial Economics, 1979.

Damodaran, Aswath. The Promise of Real Options. Journal of Applied Corporate Finance, 2000.

Guadix, J., Rodríguez, M., & Muñuzuri, J. (2014). Organización y Gestión de Empresas. Análisis de Balances, Control Económico, Inversiones y Financiación. Sevilla: Iris-Copy S.L.

Fernandez, Pablo. Utilización de la fórmula de Black y Scholes para valorar opciones. Nota técnica de la Investigación del IESE, 1997.

Fernández, Pablo. Valoración de opciones reales: dificultades, problemas y errores. Documento de Investigación DI-760, IESE Business School, 2008.

Mascareñas J., Lamothe P., Lopez F. y Luna W. Opciones Reales y Valoración de Activos. Prentice Hall, 2004.

Mascareñas, Juan. Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión. Monografías sobre Finanzas Corporativas, 2007.

Mascareñas, Juan. Opciones reales: introducción. Universidad Complutense de Madrid, 2010.

Mascareñas, Juan. Opciones reales de ampliar y reducir un proyecto de inversión. Universidad Complutense de Madrid, 2018.

Mascareñas, Juan. Opciones Reales: Gestión y problemas de su utilización. Monografías Universidad Complutense de Madrid, 2019.

(Página oficial de Verallia. Sobre nosotros. Nuestro propósito, 2019)

(Alimarket. Noticias de envase. Envases de vidrio, 2017, 2017)

Baño, Miguel. Reemplazar la maquinaria industrial: 3 razones para hacerlo. TECOMSA. 2019.

Ignacio Ucelay, S. (2022). Valor de amortización y valor residual.: Análisis de la RTEAC de 23 de noviembre de 2021, RG 1135/2019. CEFGestión: Revista de actualización empresarial, (284), 55-68