

## EJERCICIO DE DECISIONES DE INVERSIÓN A TRAVÉS DE VALORACIÓN POR OPCIONES REALES

### INVESTMENT DECISION EXERCISE THROUGH VALUATION FOR REAL OPTIONS

#### **MC Alma Alejandra Velázquez Alejos**

Estudiante de Doctorado. Ingeniero en electrónica  
Universidad Autónoma de Querétaro  
avelazquez58@alumnos.uaq.mx

#### **Dra. Josefina Morgan Beltrán**

Jefa de la División de Estudios de Posgrado e Investigación en la Universidad Autónoma de Querétaro  
Universidad Autónoma de Querétaro  
jmorganbeltran@yahoo.com.mx

#### **Dr. Humberto Banda Ortiz**

Profesor Investigador de la Universidad Autónoma de Querétaro  
Universidad Autónoma de Querétaro  
humberto.banda@gmail.com

### **Resumen**

Esta investigación tiene como objetivo el estudio empírico del uso de opciones reales como un método de valuación financiera en proyectos de inversión al momento de tomar decisiones. La flexibilidad e incertidumbre en la toma de decisiones son esenciales de la metodología, se consideran parámetros como los flujos de caja, valores de volatilidad, valor de inversión, precio del ejercicio, así como el tiempo del ejercicio y tasa libre de riesgo. Las opciones reales son extensión de las Opciones financieras y se pueden valorar por distintos métodos, para esta investigación se utilizó árboles binomiales para proyectar los valores de flujo dentro del año del ejercicio para mostrar su valor, esta perspectiva se muestra para tomar la mejor decisión en una inversión.

**Palabras clave:** Evaluación financiera, opciones reales, modelo binomial.

**Clasificación JEL:** G13, O22, M21.

### **Abstract**

This research aims to empirically study the use of real options as a method of financial valuation in investment projects when making decisions. Flexibility and uncertainty in decision-making are essential to the methodology, and parameters such as cash flows, volatility values, investment value, exercise price, as well as exercise time, and risk-free rate are considered. The real options are an extension of the financial Options and can be valued by different methods, for this investigation binomial trees were used to project the flow values within the year of the exercise to show their value, this perspective is shown to make the best decision in investment.

**Keywords:** Financial evaluation, real options, binomial model.

**JEL classification:** G13, O22, M21.

## 1. INTRODUCCIÓN

La situación económica actual aún se está recuperando después de la pandemia originada por la Covid-19, la innovación constante, los avances tecnológicos han hecho que las industrias se desarrollen aceleradamente y estos cambios hacen el entorno inestable. La industria de las aerolíneas se considera un entorno dinámico debido a que operan con gran incertidumbre (Hu & Zhang, 2015), ya que se ven influenciados por las actividades económicas nacionales e internacionales, de acuerdo a la Asociación Internacional de Transporte Aéreo (IATA), del 2020 al 2021 ha sido el mayor impacto en la aviación debido a las restricciones sanitarias y a la prohibición de movilidad de las personas, disminuyendo el uso de forma drástica (Herrera, 2021), ahora sin estas restricciones la demanda aumenta, por lo que cuando se planea realizar una inversión o evaluar proyectos de inversión aun con circunstancias de incertidumbre, siempre se espera maximizar las ganancias tratando de asumir el menor riesgo, existen distintos métodos para realizar estas evaluaciones en base a incertidumbre. Uno de los métodos para evaluar proyectos de inversión son las opciones reales es un método distinto a los métodos tradicionales de evaluación, ya que combinan la incertidumbre en un entorno empresarial flexible. Una “opción” es un contrato que le da al propietario el derecho de comprar o vender un activo a un determinado precio dentro de un tiempo específico (Brigham & Ehrhardt, 2017).

El término de opciones reales sale por primera vez en el trabajo de “Determinants of Corporate Borrowing” de Stewart C. Myers (1977), en el cual desglosa el valor de una empresa en dos componentes, primero por su valor presente de los activos vigentes y segundo, por su valor presente de las oportunidades de crecimiento a futuro, en donde se exploraron distintas opciones de decisiones de inversión; abandono, flexibilidad, expansión, crecimiento, aprendizaje, diferir, explorar (Larrabee y Voss, 2013). Las opciones reales de acuerdo a Amram (2000), son el subconjunto de elecciones estratégicas de una empresa, el cual determina la aplicabilidad dentro de las opciones, donde se tienen vinculado la creación de valor del accionista, sin embargo, cuando el valor de inversión no vincula los riesgos valorados dentro del mercado financiero es mejor realizarlos, bajo otros métodos de análisis de decisión. Existen distintos tipos de opciones reales se pueden utilizar para crecimiento y aprendizaje o como opciones de flexibilidad; aplazar una inversión, para ampliar el negocio, abandonar el negocio, cambio de activos, investigación y desarrollo, entre otros (Fernández, 2015).

Los modelos dinámicos dentro de las opciones reales permiten estimar los costos de bancarrota esperados, los costos de emisión y preferencias de gestión. La elección de expansión de acuerdo a la demanda para comprar o arrendar, va a depender de las ventajas y desventajas que tiene la empresa, la inversión brinda oportunidades y no obligaciones para valorar como cualquier inversión por lo que en este estudio se presenta

como la adquisición de aeronaves puede contener una cartera de opciones reales integradas en el ciclo de vida de la inversión, se toman en cuenta la estructura de capital y situación económica de la compañía, donde se definen los activos a invertir y el monto de la inversión. La valoración de proyectos del sector aeronáutico es afectada por distintas variables como: de tráfico por kilómetro y por los costos se tiene el costo de unidad de producción por lo que se incorpora flexibilidad e incertidumbre sobre las situaciones. De acuerdo a Gibson y Morrell (2005), las aerolíneas utilizan predominantemente el método del Valor Presente Neto (VPN), y aumentan su tasa de descuento para ajustar el riesgo, en lugar de ajustar los flujos de efectivo utilizando las opciones reales.

El artículo se organiza de la siguiente manera, en la sección dos, se presenta la revisión de la literatura. En la sección tres, se describe la metodología utilizada de opciones reales y se muestran los antecedentes del caso de estudio. En la sección cuatro, se efectúa el análisis de los datos utilizados y se demuestran los resultados. Finalmente, en la sección se plantean las conclusiones.

## 2. DESARROLLO

A principio de los años 70's comenzó y se dio a conocer la metodología de opciones financieras, los autores como Fisher Black y Myron C. Scholes y la contribución de Merton, Cox, Ross y Rubinstein, crearon los modelos conocidos como Black & Scholes y árboles binomiales respectivamente, los cuales se basaron en la ecuación de la teoría de procesos estocásticos, que permite determinar el valor teórico de los activos financieros para compra (call) o para la venta (pull) mitigando el riesgo, para los años 80's con las aportaciones de Stewart C. Myers se utilizó por primera vez el término "Opción real" (Schulmerich, 2005). Con el tiempo las aportaciones de análisis de correlación canónica de Brennan y Schwartz, los efectos de incertidumbre e irreversibilidad en la valoración y ejercicio óptimo de las opciones reales de McDonald y Siegel y sobre todo con los modelos de continuidad de Dixit y Pindyck (Lambrech, 2017).

Las opciones financieras son la base de las llamadas opciones reales, su comprensión ayudara a administrar el valor inherente de las opciones reales, una opción es un contrato (el derecho, mas no la obligación) de realizar operaciones determinadas como comprar o vender un activo a un precio determinado, durante un tiempo (periodo) determinado, sin embargo, existen distintas opciones (Ayús et al., 2012; Brigham & Ehrhardt, 2017). Para Mota (2019), las opciones financieras tienen un periodo de vida corto ( $T - t = \text{meses}$ ), las opciones reales tienen un periodo de vida largo ( $T - t = \text{años}$ ).

Las opciones reales para Amram y Kulatilaka (2000), son el subconjunto de opciones estratégicas en las que la decisión del ejercicio se desencadena por el riesgo del precio

del mercado. Una opción de compra (call) de la al propietario el derecho mas no obligación de comprar una acción a precio fijo, en un momento determinado opción americana o europea, llamado precio de ejercicio el cual es el precio al que ejerce la opción, donde el comprador tiene la alternativa de ejercer o no su derecho, el vendedor está obligado a satisfacer lo que el comprador requiera, una opción de venta (put) le da a su propietario el derecho mas no la obligación de vender una acción a un precio de ejercicio fijo opción americana o europea, si la opción de puede ejercer en cualquier momento antes de su vencimiento se llama Opción Americana, si solo puede ejercerse en su fecha de vencimiento se le llama Opción Europea (Brigham y Ehrhardt, 2017; Fernández, 2015).

Dentro de los tipos de opciones reales esta la opción de expandir o ampliar cuando las condiciones del proyecto son favorables, o si fueran desfavorables disminuirla, que equivale a una opción de compra del tipo Americano, la opción de contraer si las condiciones resultan negativas se puede comparar como una opción de venta, la opción de espera puede esperar un determinado tiempo para que las condiciones del mercado cambien, equivale a poseer una opción de compra (Calle y Tamayo, 2009).

Las fortalezas clave de las opciones reales, primero porque se generan a través de los modelos dinámicos que permiten hacer predicciones cuantitativas, segundo porque los modelos de opciones reales estructurales pueden ser probados con los datos y se pueden utilizar estimaciones estructurales para obtener los parámetros no observables, tercero porque permiten calcular valores para proyectos de inversión y reclamos sobre las inversiones, estas agregan valor, sin embargo se debe de tener cuidado de no inflar las valoraciones y, cuarto ayuda a la planeación estratégica sobre las inversiones proporcionando el marco que cierra la brecha entre finanzas y estrategias (Lambrecht, 2017).

Para Amram y Kulatilaka (1999) el uso de opciones reales aplica para: a) cuando existe una decisión de inversión contingente, b) cuando la incertidumbre es suficientemente grande para que sea razonable esperar más evitando una inversión irreversible, c) cuando el valor parece ser capturado en posibilidades de crecimiento futuro, d) cuando la incertidumbre es grande como para que se considere la flexibilidad, e) cuando exista actualizaciones de proyectos y correcciones estratégicas a la mitad del proceso. No obstante para Fernández (2015), algunos de las limitaciones que se presenta con la valoración de las opciones reales es la dificultad que se tiene para definir los parámetros que se necesitan para la valoración, así como poder cuantificar y definir la volatilidad de la incertidumbre. Sin embargo, las opciones reales pueden ser un complemento de las evaluaciones tradicionales, ya que pueden generar valor a los proyectos y capturar su valor, incluyendo una flexibilidad de futuras decisiones.

Los métodos más utilizados dentro de las opciones reales son de dos tipos los que se aproximan a procesos estocásticos del tipo más intuitivo o las que se aproximan a resultados de ecuaciones parciales diferenciales (Mota, 2019), aproximaciones multi y binomiales, así como el modelo de simulación de Monte Carlo, integraciones numéricas, como el modelo de Black & Scholes y los modelos de árboles binomiales o arboles de decisión.

Los modelos de simulación es una técnica que se utiliza para estimar posibles resultados en un evento incierto, la metodología Monte Carlo o simulación de sensibilidad multivariable, permite tener diferentes fuentes de incertidumbre que afectan al valor de una opción real, permitiendo alterar la distribución de probabilidad cuando se requiera, calculando el valor esperado de la opción, utilizando una tasa libre de riesgo (Gonçalves, 2013).

El modelo de árboles binomiales es un modelo basado en una simple representación de evolución del valor del activo subyacente, se puede observar el comportamiento de las acciones a través del tiempo desde su vencimiento hasta el presente, en cada periodo solo puede trazar uno o dos posibles valores (puede subir de precio o puede bajar de precio), después de la fecha de inicio, hasta tener distintas alternativas a medida que el tiempo aumenta, se debe conocer la volatilidad del precio del activo subyacente (Amram y Kulatilaka, 1999; Larrabee y Voss, 2013). La volatilidad son las posibles oscilaciones y rango de variaciones de los precios del activo subyacente (Hernández, 2002).

El modelo de Black & Scholes se basa en los mismos conceptos de modelo binomial, excepto que el tiempo se divide en incrementos pequeños por lo que el precio de las acciones cambia continuamente, no existen costos de transacción para comprar o vender las acciones o las opciones, la tasa de interés a corto plazo y libre de riesgo se conoce y es constante durante la vida útil de la opción, la opción de compra solo se puede ejercer en su fecha de vencimiento, para el comprador las opciones son activos, mientras que para el vendedor son pasivos (Brigham y Ehrhardt, 2017).

Estos últimos modelos dentro de su metodología se deben tener ciertas variables para poder determinar su valor, de acuerdo a las variables fundamentales que van a influir dentro de las opciones reales (Granados, 2019; Vedovoto, 2015):

- **Precio de la acción – (S)**; es el valor actual del activo real (valor presente de los flujos de caja), en la opción financiera se refiere al precio del activo subyacente.
- **Valor/precio del ejercicio – (X)**; es el valor del precio a pagar por hacerse al activo real y el costo de oportunidad del proyecto, en la opción financiera se refiere al precio de la opción que el propietario puede ejercer.

- **Tiempo de ejercicio (años) – (T)**; se refiere al día de vencimiento de la opción (efectiva hasta determinada fecha), se debe de considerar a) Opciones Europeas, b) Opciones Americanas.
- **Volatilidad (varianza de la acción) – ( $\sigma$ )**; indica la variabilidad de la rentabilidad del activo del precio promedio (puede variar u oscilar en el futuro).
- **Tasa de interés libre de riesgo – (rf)**; indica la tasa que paga el emisor por un préstamo.

### **b. Sector Aeronáutico**

Previo a la pandemia durante el periodo 2016-2019 hubo un crecimiento de pasajeros en las aerolíneas con una tasa de crecimiento del 7.5%, después de marzo del 2020 hubo un desplome por las restricciones sanitarias y el confinamiento en varios países, por lo que el Grupo Aeroportuario del Centro norte cual registró una caída del 93.5%, se toma como ejemplo real que a finales de Junio 2020 el Grupo Aeroméxico, S.A.B. de C.V. inició el proceso de reestructuración financiera bajo el capítulo 11 de la Ley de Quiebras de los Estados Unidos (Herrera, 2021). Para enero 2022 la empresa Aeroméxico salió del capítulo 11, presentando una reestructuración de inversión (Navarro, 2022), para agosto 2022 de acuerdo a (Aeroméxico (2022), se reporta en sus estadísticas operacionales un incremento del 32.3%, trasportando a 2 millones 030 mil pasajeros, la demanda (tráfico) incremento un 41.6%, el factor de ocupación fue de 83.6%, e informaron que aumentarían sus operaciones a distintos destinos desde distintos Aeropuertos Internacionales en México.

El análisis de opciones reales se ha utilizado a lo largo del tiempo para la adquisición de capital de transporte aéreo (Gibson y Morrell, 2005). De acuerdo a Frausto, (2013), existen distintos indicadores dentro de la industria aeronáutica para medir en las aerolíneas su desempeño financiero y operativo, en los ingresos se tienen las variables de tráfico por kilómetro y por los costos se tiene el costo de unidad de producción, no obstante, existen otras afectaciones que no se consideran en el ejercicio ya que se generan por los precios internacionales del petróleo, los cargos en los aeropuertos, los periodos de desaceleración en la economía, se mencionan debido a que la industria de la aviación está expuesta a eventos inciertos.

México tiene una población aproximadamente de 126 millones de habitantes, con una tasa de crecimiento anual del 1.2%, ocupando el lugar número 11 en población a nivel mundial, la edad mediana en el país es de 29 años (INEGI, 2021), dado el crecimiento de la población y movilidad se pudiera tener un mayor tráfico aéreo.

### c. Caso práctico de la propuesta metodológica: árboles binomiales

En la presente investigación se lleva a cabo una revisión de la literatura con los conceptos teóricos que se aplican al caso de estudio para tener un conocimiento más claro de los fundamentos de las opciones reales y a partir de ahí establecer la evaluación de proyectos de la inversión del sector aeronáutico. En esta investigación se realizan opciones simples donde se presenta la técnica mencionada a continuación.

Desarrollado por Ross et al., (1979), el método binomial representa diferentes posibles trayectorias que pudiera dar el precio del activo subyacente durante la vida de la opción, en cada periodo ( $t$ ) es un escenario posible para poder tomar la mejor decisión en el momento correcto, si el activo subyacente resulta ser favorable de lo esperado, entonces la empresa pudiera planear la expansión (opción de compra "call" tipo Americano).

Su valor inicial del árbol se representa por  $S_0$  que es el valor inicial del activo subyacente, siguiendo una distribución discreta, la cual puede tomar dos caminos, puede subir con probabilidad  $p$  (coeficiente de subida  $u$ : up) o bajar con probabilidad  $1-p$  (coeficiente de bajada  $d$ : down), en cada intervalo de tiempo el valor aumentará  $U$ , o disminuirá  $D$ , los cuales son factores que dependerán del precio de expiración de la opción y de la variabilidad del precio del activo subyacente. La representación de un árbol binomial se puede observar en la figura 1. En este caso el uso de opciones reales por medio de árboles binomiales se puede ver el resultado de si es favorable o no para la toma de decisiones.

Parámetros:

- Amplitud de intervalo:  $\Delta t = \text{días} / 360 / \text{número de ramas de árbol}$
- Coeficiente de subida  $u$ : Ec. (1)
- Coeficiente de bajada  $d$ : Ec. (2)
- $S_{ou}$  Valor de la opción call al vencimiento con un movimiento al alza
- $S_{od}$  Valor de la opción call al vencimiento con un movimiento a la baja

En la realidad los proyectos de inversión tienen la posibilidad de reevaluar sus decisiones de inversión considerando las posibilidades futuras, para ejemplificar lo anterior, se realizó la valuación financiera del proyecto de inversión de una aerolínea, supóngase los siguientes valores en los parámetros que componen el análisis, la empresa está valorada en \$2.560 millones de dólares, tiene una planeación de inversión de \$5 millones de dólares (aproximadamente \$99,971,200 millones de pesos MX) durante los primeros 5 años y el aumento de 147 aeronaves de las 124 que se tienen actualmente (Navarro, 2022), la tasa de ceses a días de 9.37 %, se tomó de Banxico (2022). La Volatilidad como las posibles oscilaciones y rango de variaciones de los precios del activo

subyacente (Hernández, 2002), la volatilidad histórica, calculado con los datos históricos del activo subyacente es de 32%, es uno de los parámetros que afecta el valor de las opciones, cuanto mayor sea la volatilidad es mayor el valor de las opciones el factor a la alza y baja, así, de tal forma que el árbol de la opción del proyecto está dado en la Tabla 1. La cual es una representación gráfica de las decisiones expectantes donde las dos ramas equivalen a los valores estimados futuros, utilizando los factores  $u$  y  $d$ : Ec. (1) y Ec. (2), donde  $u=1.37$  y  $d= 0.72$ .

El proceso de valuación de la opción real se plantea que el cálculo de los flujos netos de efectivo por actividades de inversión es de \$865.22 millones de pesos MX, de acuerdo a Investing (2022), el valor en el año establecido se representa en la Tabla 2.

Cuando la planificación del modelo binomial se genera ( $n$ ) periodos, como se muestra en la tabla 2, presentando posibles futuros el cual permite desarrollar el modelo tomando en cuenta las posibilidades para la toma de decisiones, la valoración de la opción se realiza calculando los valores de la misma al final de los periodos ( $n$ ), por medio de procedimiento de retroceso en el tiempo (recursivo), comenzando de derecha a izquierda por medio de las fórmulas Ec. (3) y Ec. (4):

#### **d. Discusión de los resultados**

Siguiendo la discusión de la metodología en la tabla 1 se presentan los flujos de los valores, cuando el precio del activo subyacente sube, tiene derecho a ejercer y comprar el activo subyacente al precio del ejercicio, mientras el precio del mercado sea más alto al precio del ejercicio, mayor será su utilidad neta, por lo que el comprador tiene un riesgo conocido. Se puede plantear si ¿se debe de aceptar el proyecto?, cuando el precio del activo subyacente baja y permanezca por debajo del precio del ejercicio, la opción no se ejerce y obtiene como utilidad la prima, si se llegara a ejercer, se ve obligado a ofrecer una cantidad del activo subyacente al precio del ejercicio de tal manera que será menor al del mercado. Si el precio del mercado es mayor con respecto al precio del ejercicio, más grandes serán las pérdidas netas de la opción. Después de observar los resultados en el año uno, al año cinco, el inversionista tiene la posibilidad de expandir con la inversión previamente mencionada.

Se pueden observar los peores escenarios, cuando en el horizonte de planificación del modelo binomial se genera ( $n$ ) periodos, como se muestra en la tabla 2, se calcula por medio de procedimiento de retroceso en el tiempo (recursivo), de los valores en el año, se observa que en el momento cero el flujo es de \$865.22 millones de pesos MX, en el periodo uno el flujo la opción sube a \$1,91.52 millones de pesos MX y este flujo tiene otras dos posibilidades "opciones" que suba a \$1,552.21 millones de pesos MX o que baje a \$776.55 millones de pesos MX, por lo que el flujo en el año 5 el proyecto va a



valer \$ 4,285.46 millones de pesos MX, y así sucesivamente, se puede observar los mejores y peores escenarios dentro de la tabla, por lo que se puede validar las alternativas para poder decidir en cada punto del tiempo cuando tomar una mejor decisión, ya que el modelo binomial muestra y proporciona la evolución aproximada del valor de los activos subyacentes de manera simple pero flexible, por lo que la metodología de opciones reales es una herramienta para la valoración de proyectos.

### 3. CONCLUSIONES

Los modelos de Opciones Financieras se basan en los mercados formales siendo su diseño de construcción más objetiva, atractiva y transparente de acuerdo a distintos autores, en las Opciones Reales el diseño es subjetivo, su base y principios conceptuales son los de las Opciones Financieras, por lo que sus parámetros para su valuación en el método son los mismos, sin embargo, sus variables se representan de distinta forma, los cuales incluyen los factores de incertidumbre, flexibilidad, siendo estos factores la clave diferencial entre ellas, por lo que se han convertido en una herramienta complementaria cuando se evalúan proyectos financieros de inversión los cuales puede otorgar una visión estratégica cuando se tengan que tomar decisiones. Existen distintos caminos para evaluar las Opciones Reales como el modelo de simulación de Monte Carlo, modelo de Black y Scholes y los modelos de árboles binomiales (árboles de decisión).

De acuerdo al objetivo de la presente investigación, las opciones reales utilizando modelo binomial, en un proyecto de expansión son una buena opción para validar la valoración de proyectos con incertidumbre y volatilidad, en el caso del proyecto de inversión de la aerolínea, afecta de manera positiva el uso del valor de la opción para que influya sobre la decisión del inversionista, ya que puede ser visto como un listado de opciones estratégicas de crecimiento, ya que le va a permitir un crecimiento sin riesgo, si los resultados son positivos al ejercer la opción, no obstante, es necesario comprender el enfoque de opciones reales en términos de teoría financiera. La realidad de los mercados financieros es alterada desde las perspectivas de los contextos de visualización que se les da, por lo que con el tiempo se han creado nuevos instrumentos y enfoques consiguiendo otras perspectivas y opciones en el mundo financiero, no obstante, a lo largo de los proyectos se pueden tener distintas opciones por lo que es conveniente considerarlas. El sector aeronáutico está expuesta a eventos inciertos, por lo que las opciones reales se convierten en el camino para explorar la valoración de proyectos de inversión con flexibilidad para tomar decisiones acordes a la realidad cambiante.

#### 4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aeroméxico, G. (2022). *Aeroméxico Reporta Resultados de Tráfico para Agosto 2022*.  
[https://aeromexico.com/cms/sites/default/files/2022-09/Agosto2022\\_Est\\_Op\\_R1.pdf](https://aeromexico.com/cms/sites/default/files/2022-09/Agosto2022_Est_Op_R1.pdf)
- Amram, M. (2000). Strategy and Shareholder Value Creation: The Real Options Frontier. *Journal of Applied Corporate Finance*, 13(2), 16.  
<https://doi.org/10.2469/dig.v31.n2.867>
- Amram, M., & Kulatilaka, N. (1999). *Real Options - Managing Strategic Investment in an Uncertain World*. Harvard Business School Press.  
<https://books.google.com.mx/books?id=dM16QgAACAAJ>
- Amram, M., & Kulatilaka, N. (2000). Strategy and Shareholder Value Creation: the Real Options Frontier. *Journal of Applied*, 13(2), 126–137.  
<https://people.bu.edu/nalink/papers/jacf.pdf>
- Ayús, T., Lenin, A., Velásquez, A., & Enrique, R. (2012). Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión. *Ecos de Economía*, 16(35), 29–44. <https://doi.org/10.17230/ecos.2012.35.2>
- Banxico. (2022). *SIE - Mercado de valores*. Mercado de Valores (Tasas de Interés).  
<https://www.banxico.org.mx/tipcamb/main.do?page=tas&idioma=sp>
- Brigham, E., & Ehrhardt, M. (2017). *Financial Management - Theory and Practice*. Cengage Learning. <https://www.cengage.ca/c/isbn/9780176583057/>
- Calle, A., & Tamayo, V. (2009). Decisiones de inversión a través de opciones reales. *Estudios Gerenciales*, 25(111), 107–126. [https://doi.org/10.1016/s0123-5923\(09\)70073-7](https://doi.org/10.1016/s0123-5923(09)70073-7)
- Fernández, P. (2015). Valoración de Opciones Reales. Dificultades, Problemas y Errores. *IASE Business School*, 3(1997), 1–22. <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1159045>
- Frausto, I. (2013). *Valuación de empresas. Aerolíneas mexicanas*.  
<http://hdl.handle.net/11285/632307>
- Gibson, W., & Morrell, P. (2005). Airline finance and aircraft financial evaluation : evidence from the field. *ATRS World Conference*, 33(0). [https://www.airbusiness-academy.com/files/pmedia/public/r63\\_9\\_aircraft\\_finance\\_and\\_aircraft\\_financial\\_evaluation\\_-\\_evidence\\_from\\_the\\_field.pdf](https://www.airbusiness-academy.com/files/pmedia/public/r63_9_aircraft_finance_and_aircraft_financial_evaluation_-_evidence_from_the_field.pdf)
- Gonçalves, J. (2013). *Real options as a tool for managing uncertainty in project management The New Lisbon Airport*. [Lisboa University].  
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395145617957/Dissertação José>

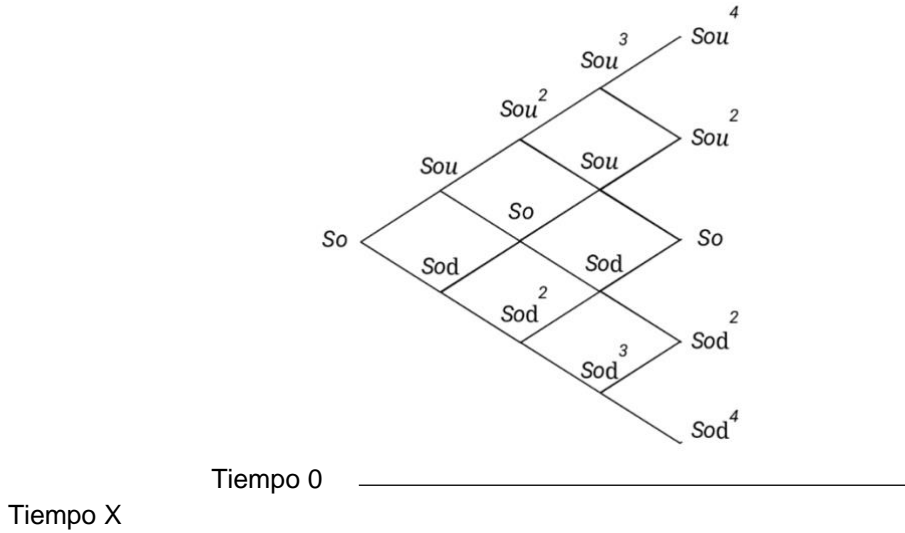
Martins, 55583.pdf

- Granados, N. (2019). *Opciones reales como método alternativo de valoración para proyectos del sector gas en Colombia* [Colegio de Estudios Superiores de Administración]. <https://repository.cesa.edu.co/bitstream/handle/10726/2264/MFC2019-27736.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Hernández, D. (2002). *Opciones Reales: El Manejo De Las Inversiones Estratégicas En Las Finanzas Corporativas* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/HernandezAD/tesis.pdf>
- Herrera, A. (2021). Impacto de la COVID-19 en el transporte aéreo de pasajeros y carga en México durante el 2020. In *Publicación Técnica* (Issue 629). <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt629.pdf>
- Hu, Q., & Zhang, A. (2015). Real option analysis of aircraft acquisition: A case study. *Journal of Air Transport Management*, 46, 19–29. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2015.03.010>
- INEGI. (2021). Estructura De La Población 2000, 2010 Y 2020. *Censo de Poblacion y Vivienda*, 1–3. <http://censo2020.mx/>
- Investing. (2022). *Acciones Aeromexico | Precio de la acción AEROMEX - Investing.com México*. <https://mx.investing.com/equities/aeromexico>
- Lambrecht, B. M. (2017). Real options in finance. *Journal of Banking and Finance*, 81(March 2017), 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2017.03.006>
- Larrabee, D., & Voss, J. (2013). *Valuation Techniques Discounted Cash Flow, Earnings Quality, Measures of Value Added, and Real Options* (I. John Wiley & Sons (ed.)). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken. <https://www.wiley.com/en-us/Valuation+Techniques%3A+Discounted+Cash+Flow%2C+Earnings+Quality%2C+Measures+of+Value+Added%2C+and+Real+Options-p-9781118417607>
- Mascareñas, J. (1994). El método binomial de valoración de opciones. *Universidad Complutense de Madrid*, 1–14. <http://www.gacetafinanciera.com/TEORIARIESGO/VALOREOPCIONES.pdf>
- Mota, M. (2019). La evaluación de Proyectos de Inversión a través de los fundamentos de la Teoría de Opciones Reales. *Administración Y Organizaciones*, 8(15), 09–26. <https://rayo.xoc.uam.mx/index.php/Rayo/article/view/282>
- Navarro, A. (2022). *Aeroméxico sale de Capítulo 11; invertirá US\$5.000 millones en flota*. <https://www.bloomberglinea.com/2022/03/17/aeromexico-sale-de-capitulo-11-invertira-us5000-millones-en-flota/>

- Ross, S. A., Rubinstein, M., & Cox, J. C. (1979). Option pricing: A simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229–263. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X\(79\)90015-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0304-405X(79)90015-1)
- Schulmerich, M. (2005). Real Options Valuation. The importance of interest rate modelling in theory and practice. In *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems: Vol. I*. Springer Berlin Heidelberg. <https://link.springer.com/book/10.1007/3-540-28512-1>
- Vedovoto, G. (2015). Opciones reales: una propuesta para valorar proyectos de I+D en centros públicos de investigación agraria. *Contaduría y Administración*, 60(1), 145–179. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=39533059007%0D>

### 5. ANEXOS

Figura 1. Gráfica de Árbol binomial



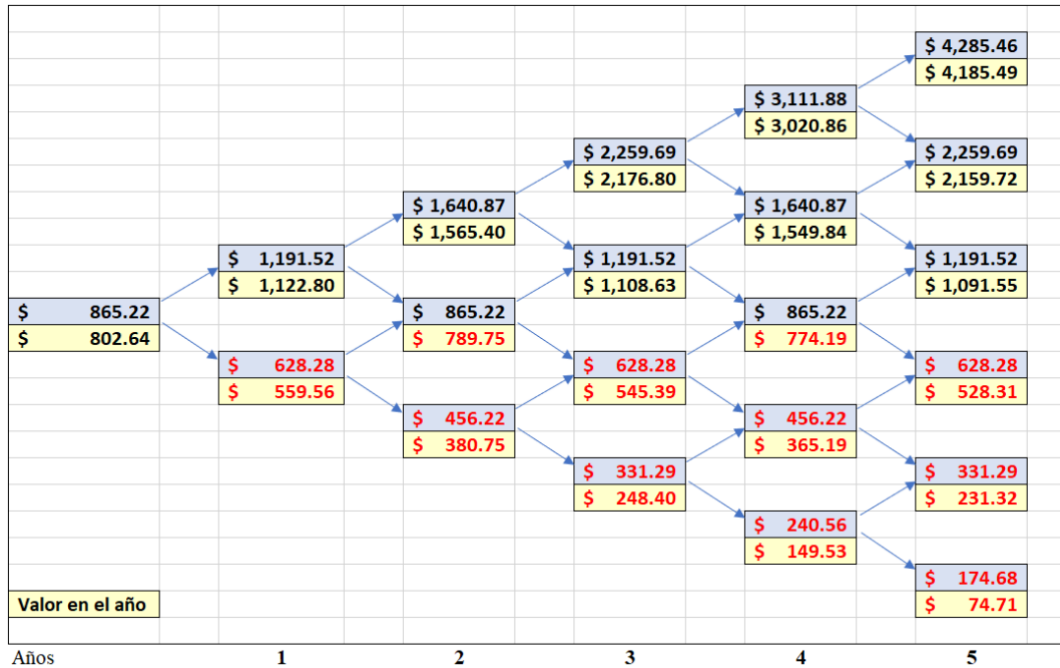
Fuente: Elaboración de la representación de un árbol binomial basado en Granados (2019); Mascareñas (1994).

Tabla 1. Árbol del subyacente

					\$ 4,285.46
				\$ 3,111.88	\$ 2,259.69
			\$ 2,259.69	\$ 1,640.87	\$ 1,191.52
		\$ 1,640.87	\$ 1,191.52	\$ 865.22	\$ 628.28
	\$ 1,191.52	\$ 865.22	\$ 628.28	\$ 456.22	\$ 331.29
\$ 865.22	\$ 628.28	\$ 456.22	\$ 331.29	\$ 240.56	\$ 174.68
Años	1	2	3	4	5

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2. Valor del flujo en los periodos de tiempo**



Fuente: Elaboración propia

**Ecuaciones.**

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

Ec. (1)

$$d = \frac{1}{u} = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}}$$

Ec. (2)

$$Cu = \text{MAX} [Sou - X, 0]$$

Ec. (3)

$$Cd = \text{MAX} [Sod - X, 0]$$

Ec. (4)