

**EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTO DE COMERCIALIZACIÓN
INTERNACIONAL DE AGUACATE A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE
OPCIONES REALES**

MATEO RESTREPO SARMIENTO

UNIVERSIDAD EAFIT

ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA (MAF)

MEDELLÍN

2019

**EVALUACIÓN FINANCIERA DE PROYECTO DE COMERCIALIZACIÓN
INTERNACIONAL DE AGUACATE A TRAVÉS DE LA APLICACIÓN DE
OPCIONES REALES**

**Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de magíster en
Administración Financiera**

MATEO RESTREPO SARMIENTO¹

Asesor: Julián Pareja Vasseur, DBA

**UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS
MAESTRIA EN ADMINISTRACIÓN FINANCIERA (MAF)
MEDELLÍN
2019**

¹ mrestr58@eafit.edu.co

Resumen

El objetivo de este trabajo es identificar los impactos en términos de valor al evaluar proyectos en los que está presente la flexibilidad o toma de decisiones de la gerencia. Para ello se definió como metodología la valoración de un proyecto industrial, dedicado al procesamiento de aguacate *Hass*, mediante el empleo de métodos tradicionales de valoración con criterio el del NVP. Luego se construyeron árboles binomiales para evaluar las opciones reales de expansión, abandono y escogencia con el fin de complementar la valoración inicial. Los resultados indican que ambos métodos se complementan entre sí y que la presencia de flexibilidad y reacción frente a cambios de variables de incertidumbre representan una porción de valor adicional en la evaluación de proyectos. La motivación del trabajo recayó en demostrar cómo los conceptos de valor pueden verse limitados por suponer la pasividad de los encargados del proyecto y cómo se ignoran factores estratégicos.

Palabras clave: opciones reales, incertidumbre, valoración de proyectos, valor presente neto (VPN), árboles binomiales, decisiones estratégicas, opción de expansión, opción de abandono.

Abstract

The objective of this work is to identify the impacts in terms of value when evaluating projects where management's flexibility or decision making is present. For this purpose, the evaluation of an industrial project, dedicated to Hass avocado processing, using traditional methods of valuation with NVP criteria was defined as a methodology. Then binomial trees were built to evaluate the real options of expansion, abandonment and choice complementing the initial assessment. The results indicate that both methods complement each other and that the presence of flexibility and reaction to changes in uncertainty variables represent a portion of additional value in the evaluation of projects. The motivation of the work lies in demonstrating how the concepts of value can be limited by assuming the passivity of the project managers and how strategic factors are ignored.

Keywords: Real options, uncertainty, project valuation, net present value (NPV), binomial trees, strategic decisions, expansion option, abandonment option, delay option.

Introducción

La evaluación financiera de proyectos a lo largo de la tradición se ha realizado por medio de la metodología de descuento de flujos de caja (*discounted cash flow* o DFC), que utiliza como criterio financiero el valor presente neto (*net present value* o NPV) que consiste en tomar flujos positivos generados por el proyecto menos los montos de inversiones requeridas por él y traerlos a valor presente mediante una tasa de descuento. Sin embargo, esta metodología, junto con otras utilizadas de manera amplia, como la tasa interna de retorno (*internal return rate* o IRR) y el período de recuperación (*payback*) presentan algunas limitaciones como, por ejemplo: son estáticas, es decir, suponen movimientos de caja en un momento dado, y, además, no contemplan el valor generado por la aplicación de estrategias y toma de decisiones en escenarios de incertidumbre durante la vida del proyecto.

Por otra parte, de reciente aparición está el método de valoración no tradicional mediante opciones reales (*real options approach* o ROA), que, como ventaja principal, permite reducir los limitantes mencionados al considerar la toma de decisiones de la administración del proyecto frente a escenarios de incertidumbre creados por volatilidad en los precios, avances tecnológicos, desarrollo de productos, competencia y políticas monetarias y económicas, entre otros factores. Tal como establece Čulík (2015), la valoración por ROA, comparada con métodos tradicionales, toma en consideración el riesgo de generación de caja de un activo y la capacidad de los administradores de cambiar decisiones pasadas o tomar nuevas en un proyecto en curso.

El objetivo general del presente trabajo es evaluar un proyecto de inversión agroindustrial para la exportación de aguacate ultracongelado desde Colombia mediante el método de opciones reales como complemento de los métodos

tradicionales de valoración, como el DFC y el criterio del NPV. Para lograrlo se plantearon supuestos básicos del proyecto se evaluaron mediante el método DFC con la utilización del flujo de caja libre (*free cash flow* o FCF) descontado con el costo promedio ponderado de capital (*weighted average cost capital* o WACC), como también por medio del flujo de caja de capital (*capital cash flow* o FCC) con su respectiva tasa de costo patrimonial desapalancada (*leveraged equity cost* o K_u), valor que se complementó con un análisis por medio de ROA en el que se consideraron posibilidades de expansión y abandono, es decir, de escogencia múltiple. Más tarde se analizaron los resultados en términos de toma de decisiones y se determinó el valor de las opciones para cada caso.

El presente documento se compone de cinco secciones; en la primera se ofrece una introducción de los limitantes de la valoración tradicional y los objetivos del trabajo, la segunda es un marco conceptual de la teoría básica de la valoración de opciones reales, la tercera establece los fundamentos del sector y el proyecto, la cuarta presenta el ejercicio técnico aplicado al caso de estudio y la quinta expone las conclusiones y los hallazgos.

Marco teórico

El enfoque ROA tiene como fundamento teórico la metodología de valoración de opciones financieras, puesto que ambas definen el valor a partir del comportamiento de un activo subyacente, con la diferencia que las primeras se aplican a activos reales o proyectos, mientras que las segundas lo son sobre activos financieros.

A continuación, se desarrollan algunos conceptos básicos sobre las opciones financieras que aplican a las opciones reales.

Las opciones financieras son contratos cuyo propietario tiene el derecho, mas no la obligación, de comprar (*call*) o vender (*put*) un activo financiero; se han identificado dos tipos de contratos: el americano, que permite ejercer la opción en cualquier momento hasta su vencimiento, y el europeo, que solo lo permite en su fecha de vencimiento (Berk y DeMarzo, 2008). Mientras que las opciones financieras están

asociadas con acciones y bonos, las reales cuentan con un alcance mayor en términos empresariales y estratégicos, pues están relacionadas con activos reales productivos que están sujetos a múltiples variables que afectan su generación de valor; en resumen, una opción real es el derecho de tomar decisiones particulares de negocio que pueden dar valor, sobre todo en escenarios de alta incertidumbre (Berk y DeMarzo, 2008).

Tal como lo define Scott Mathews, miembro técnico asociado del equipo de finanzas computacionales y modelado estocástico en la división de investigación y desarrollo avanzado de Boeing, citado en Berk y DeMarzo (2008, p. 730), “las opciones reales son opciones de compra sobre una oportunidad, lo que le da a usted el derecho de detenerse, comenzar o modificar un proyecto en una fecha del futuro”.

Para Gazheli y van den Bergh (2018), las opciones reales representan la flexibilidad de tomar decisiones en el momento o esperar (con un costo), con el fin de adquirir más información en un mercado incierto (precios y competencia) y en mejores condiciones tecnológicas, si se tiene en cuenta que muchas de dichas decisiones o inversiones pueden ser irreversibles. Rózsa (2015) complementó esta idea cuando afirmó que las opciones reales son la posibilidad de invertir en activos físicos y humanos para tener oportunidad de respuesta en contingencias futuras.

En la tabla 1 se presenta un paralelo de las variables que constituyen tanto las opciones reales como las financieras.

Tabla 1. Paralelo entre opciones reales y financieras

Variable	Opción real	Opción financiera
S	Valor de los activos operativos que se van a adquirir; valor actual (VA) de los flujos de caja que genere el activo real	Precio del activo subyacente: VA de los flujos de caja que genere el activo financiero

X	Desembolsos requeridos para adquirir el activo real; costo del proyecto de inversión	Precio de ejercicio al que se tiene derecho a adquirir el activo financiero
t	Longitud del tiempo que se puede demorar la decisión de realizar el proyecto de inversión	Tiempo hasta el vencimiento de la opción
σ^2	Riesgo del activo operativo subyacente: volatilidad del VA de los flujos de caja	Varianza de los rendimientos del activo financiero
r_t	Valor temporal del dinero	Tasa de interés sin riesgo
D	Flujos de caja a los que se renuncia por no realizar ahora mismo el proyecto de inversión	Dividendos del activo subyacente

Fuente: elaboración propia con base en Mascareñas (1999)

La incertidumbre es la razón de ser de las opciones y con un enfoque hacia proyectos se puede definir como lo desconocido, ignorado e impreciso sobre el verdadero comportamiento futuro y los resultados a partir de variables de entrada que afectan el valor de los proyectos, como, por ejemplo, tasas de cambio, tasas de interés, volatilidad de precios, competencia, condiciones económicas, resultados de investigación y desarrollo y condiciones de mercado (Hernandez-Perdomo, Mun y Rocco, 2017).

Existe una amplia gama de planes de acción para combatir la incertidumbre en proyectos que determinan el tipo de opción real que es posible ejercer. A continuación, se exponen las más comunes en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de opciones reales

Tipo de opción real	Equivalencia en opción financiera	Descripción
Expansión	<i>Call</i>	Da la oportunidad a la gerencia de realizar nuevas inversiones que escalen el tamaño del proyecto con facilidad; por ejemplo: dejar espacios libres para adicionar nuevos equipos productivos que aumenten la capacidad de la planta (Koller, Goedhart, Wessels y McKinsey & Company, 2010) o permitir el crecimiento de nuevos clientes a partir de una expansión geográfica o desarrollo de nuevos productos (Fernández, 2008)
Diferir	<i>Call</i>	Consiste en comparar el valor de una inversión inmediata y las pérdidas que se evitarían por esperar a resolver una incertidumbre (Pareja Vasseur, Mejía Aguirre y Gallego Gómez, 2016); por ejemplo: en un proyecto de explotación de campo petrolero se podría preferir esperar a que los precios internacionales del petróleo aumenten, de modo que no se incurra en pérdidas cuando el precio no cubre los costos de producción (Koller et al., 2010)
Abandonar o contraer	<i>Put</i>	Consiste en vender o abandonar un proyecto que no presenta el rendimiento esperado y recoger el valor residual o de liquidación. Para el caso de la contracción no se liquida el proyecto, sino que se reduce el tamaño. En ambos escenarios, el valor residual o de liquidación será mayor que el valor presente neto del proyecto actual (Koller et al.,

		2010). Por ejemplo: la opción de cerrar o reducir una planta de producción que genera pérdida por estar sobredimensionada para la demanda actual
Compuesta	<i>Call</i> o <i>put</i>	Consiste en la combinación de múltiples opciones que se pueden ejercer en forma independiente (simultánea) o dependiente (secuencial) (Pareja Vasseur et al., 2016). Por ejemplo: es posible ejecutar una opción de contracción de la operación de una planta con poca demanda y, en caso de no generar el valor esperado, se podría ejercer la opción de abandonar el proyecto

Fuente: elaboración propia

Por otra parte, es importante mencionar que existen múltiples métodos para valorar un producto derivado, como son las opciones; a continuación se resumen los más importantes: a) modelo de Black y Scholes, b) simulación de Monte Carlo y c) árboles binomiales multiplicativos; solo los dos últimos permiten una valoración apropiada para el método ROA (Contreras Andreoli y Muñoz Rojas, 2013). A continuación, se presenta una breve explicación de cada uno de ellos:

El método de Black y Scholes (Black y Scholes, 1973) es un procedimiento directo, que entrega una solución cerrada, pues permite la valoración de la opción hasta su vencimiento (es decir, es de tipo europeo) mediante el uso de la siguiente fórmula (Guzmán Vásquez y Giraldo Alzate, 2018):

$$C = S \times N(d_1) - E \times e^{-rt} \times N(d_2) \quad (1)$$

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S}{E}\right) + \left(r + \frac{\sigma^2}{2}\right)t}{\sigma\sqrt{t}} \quad (2)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{t} \quad (3)$$

Donde:

C : valor de la opción en el momento 0.

S : precio del activo subyacente.

E : precio del ejercicio.

r : tasa de interés en tiempo continuo.

t : tiempo hasta la expiración de la opción expresado en años.

$N(i)$: valor de la distribución normal para i (d_2 y d_1).

σ : volatilidad del activo subyacente.

La simulación de Monte Carlo, por su parte, es un método numérico directo con la capacidad de evaluar tanto opciones europeas como americanas; fue introducido por Boyle (1977) y en él se simulan de manera aleatoria eventos que afectan el valor de la opción. Se emplea la siguiente fórmula, que sigue un movimiento geométrico browniano (MGB) (Guzmán Vásquez y Giraldo Alzate, 2018):

$$S_t = S_0 x e^{\left[\left(r - \frac{\sigma^2}{2}\right)\Delta t + \sigma\sqrt{\Delta t}\varepsilon_t\right]} \quad (4)$$

Donde:

S_t : precio del activo subyacente.

r : tasa de interés en tiempo continuo.

σ : volatilidad del activo subyacente.

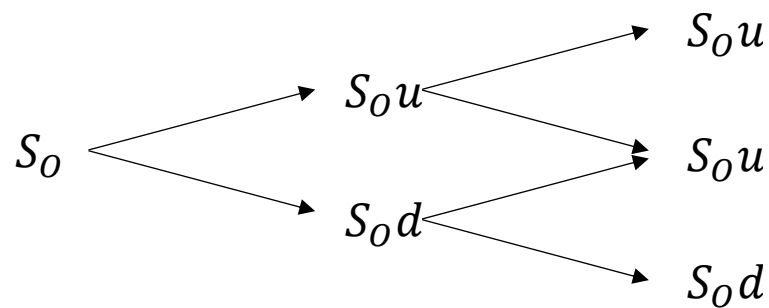
ε_t : valor procedente de una distribución $N(0,1)$:

Δt : vencimiento de la opción en años dividido por el número de períodos.

Por último, el método más popular corresponde a los árboles binomiales multiplicativos presentado por Cox, Ross y Rubinstein (1979), quienes desarrollaron un modelo en tiempo discreto mediante la utilización del precio del activo

subyacente y sus variaciones al alza (*up*), con su respectiva probabilidad (*p*), o a la baja (*down*), con probabilidad (*1-p*). Las probabilidades mencionadas permiten una valoración en un mundo neutral frente al riesgo, tal como lo muestra la figura 1:

Figura 1. Árbol binomial con dos nodos



Fuente: elaboración propia con base en Mun (2002)

Donde:

S_0 : valor del activo subyacente en el período 0.

S_0u : valor del activo subyacente en el período 1 con valor al alza.

S_0d : valor del activo subyacente en el período 1 con valor a la baja.

El valor de las opciones reales está fundamentado en la capacidad de los administradores de responder y ejecutar planes de acción frente a contingencias en la vida del proyecto, con el fin de minimizar pérdidas o maximizar utilidades mediante el aprovechamiento de oportunidades (Hernandez-Perdomo et al., 2017). Por otro lado, está la evaluación tradicional, que no contempla dicha habilidad, sino que estima un valor del proyecto a partir de una dirigencia pasiva por medio de

métodos tradicionales (Čulík, 2015). Es posible con lo anterior plantear que, para estimar el valor estratégico de un proyecto (*strategic NPV*), se requiere calcular el NPV estático (*static NPV*) más el valor de la opción real considerada, tal y como se muestra en la siguiente ecuación:

$$VPN \text{ estratégico} = VPN \text{ estático} + \text{valor de la opción real} \quad (5)$$

Al tener en cuenta lo anterior, Pareja-Vasseur et al. (2016) plantearon que el método más apropiado para estimar el valor de la opción en cuestión consiste en restar el VPN estático del VPN estratégico para determinar el valor atribuido exclusivamente a la flexibilidad gerencial, tal como se muestra en la ecuación 6:

$$\text{Valor de la opción real} = VPN \text{ estratégico} - VPN \text{ estático} \quad (6)$$

El método ROA se ha utilizado en forma amplia para proyectos de inversión en sectores con alto grado de volatilidad, como energía, petróleo, gas, minería, investigación y desarrollo, farmacéutico, aviación, telecomunicaciones y semiconductores (Kim, Park y Kim, 2017). En el sector energético, Agaton y Karl (2018) analizaron el tiempo adecuado de inversión en plantas de energía renovable en Filipinas por medio de la utilización, como variable de incertidumbre, de los precios del diésel, la electricidad y el petróleo; por su parte, Gazheli y van den Bergh (2018) evaluaron la conveniencia de inversión en energía solar o eólica al tener en cuenta variables de incertidumbre como precios de venta de energía, recursos necesarios para el montaje de las instalaciones que se consideran inversiones hundidas, costos de mantenimiento y curva de aprendizaje que incide en el costo de producción. Kim et al. (2017), por su parte, presentaron un análisis sobre la decisión de inversión en una planta de energía renovable en países en vía de desarrollo. En sus hallazgos sostienen la necesidad de emplear métodos alternativos de valoración, debido a los altos niveles de incertidumbre a los que se expone un proyecto en dichos mercados y a los limitantes que presentan en la evaluación tradicional de proyectos para capturar el valor y el riesgo implícito. Las variables consideradas como fuentes de incertidumbre fueron el costo de operación

y mantenimiento, los niveles de producción energético, el precio de comercialización y el precio de mercado de certificados de reducción de emisiones (CER).

Por su lado, también existen trabajos para el mercado energético colombiano, como, por ejemplo, el caso de Henao, Sauma y Gonzalez (2018), que cuantificaron el impacto de la flexibilidad en proyectos de expansión de transmisores de energía eléctrica. Para este efecto se consideró la opción de aplazar la ejecución de la inversión.

La literatura refiere también el uso de ROA en otros sectores; por ejemplo, Brandão, Fernandes y Dyer (2018) evaluaron un desarrollo de producto multietapas en la industria farmacéutica con la opción de abandonar o expandir el proyecto luego de cada etapa, al tener en cuenta inversiones requeridas y cambios en el mercado. Pareja-Vasseur et al. (2016) consideraron un proyecto de expansión geográfica de una compañía dedicada a la comercialización de combustibles; entre sus hallazgos está el valor negativo del proyecto según el método tradicional del NPV. Sin embargo, cuando se consideró el valor de la opción de expansión, el proyecto presentó un resultado positivo, es decir, el valor adicional asociado con la flexibilidad del proyecto lo viabilizó. Por su parte, Támara Ayús y Aristizábal Velásquez (2012) presentaron un caso de aplicación en el sector inmobiliario de construcción de vivienda con posibilidad de expansión, no expandir o contraer, en el que tomaron como variables de incertidumbre el precio de venta, la inversión en equipos para el desarrollo, el costo de mano de obra y costo de adquisición de terrenos, entre otras. Autores como Sánchez Soliño, Lara Galera y Cabero Colín (2018) emplearon un análisis de opciones reales para desarrollar un esquema en el que el constructor y operador privado de un proyecto de concesión vial pudiera reversar la concesión de acuerdo con la incertidumbre derivada del volumen de tráfico.

Por último, Chevalier-Roignant, Flath, Huchzermeier y Trigeorgis (2011) presentaron una recopilación de literatura en la que las gerencias de las compañías debían tomar decisiones bajo incertidumbre, como la entrada a nuevos mercados, la expansión de la capacidad productiva, el abandono de mercados o la evaluación

de inversiones interrelacionadas. Si bien no trabajaron un enfoque exclusivo de opciones reales, los autores reconocieron el valor generado por la estrategia y la flexibilidad gerencial en diferentes estructuras de mercado, niveles de información disponible y posiciones de competencia que, a la postre, se cuantificó en la valoración de opciones.

Caso de aplicación: procesadora de aguacate *Hass*

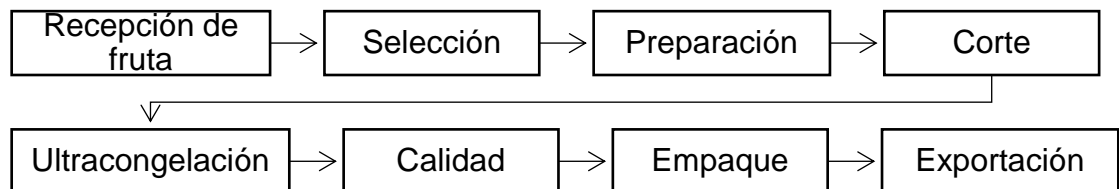
A partir del acuerdo de paz firmado en 2016 en Colombia, se abrieron importantes oportunidades para el desarrollo de proyectos agroindustriales debido a la disminución de la violencia en zonas rurales antes controladas por grupos armados, lo que no hacía posible su explotación económica. Uno de los cultivos con mayor desarrollo y potencial exportador es el aguacate *Hass*. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019), entre 2015 y 2017 las ventas internacionales del fruto crecieron 413%, al pasar de \$10,3 a \$52,9 millones de dólares. Para el cierre de 2018, se estima que este valor ascienda a \$73 millones de dólares, lo que representa un crecimiento del 37,7% respecto al año anterior (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019).

El desarrollo de la actividad también se evidencia en el incremento del área cosechada, la producción total y el rendimiento del fruto por hectárea. La primera variable se ha incrementado en 99,1% entre 2014 y 2018, al pasar de 7.800 a 15.530 hectáreas; en el mismo período, la producción se incrementó 234,2% y pasó de 28.500 a 95.250 toneladas; por último, la productividad tonelada por hectárea pasó de 6,5 a 9 en los mismos cinco años (Chaves Restrepo, 2018).

El proyecto presentado en este caso de estudio pretende explotar esta oportunidad, con el desarrollo de una planta con la capacidad de procesar y ultracongelar el aguacate para la venta en el exterior a cadenas de supermercados y al segmento

de hoteles, restaurantes y casinos (Horeca). Esta actividad económica sigue la cadena de funcionamiento descrita en la figura 2.

Figura 2. Cadena de funcionamiento del proyecto



Fuente: elaboración propia

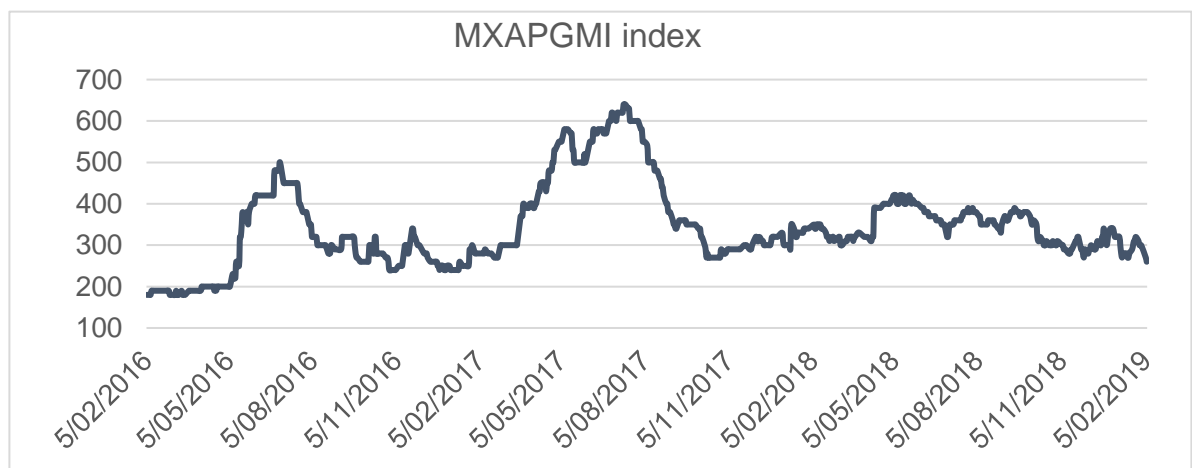
El proceso productivo consiste en recibir la fruta fresca y seleccionar las unidades que cumplen la calidad según estándares internacionales; luego del lavado y la desinfección se corta la pulpa en cubos o rodajas, para pasar por túneles especiales de ultracongelación que permiten mayor duración de la fruta por períodos más prolongados que los obtenidos por la congelación tradicional, además de conservar sus propiedades nutricionales. Por último, se empaqueta y se inicia el proceso de exportación hacia el mercado europeo.

Para el desarrollo del proyecto es necesaria la compra de un lote con vocación industrial y la construcción del complejo industrial con la dotación tecnológica y humana necesaria. Además, es obligatorio establecer las relaciones comerciales, tanto con agricultores locales que sean capaces de cumplir los estándares de calidad y los volúmenes de fruta fresca, así como también las referentes a los compromisos de venta a clientes en el exterior a partir de operadores logísticos que sean especializados en la exportación de alimentos.

En esta parte final de contextualización se identificó dónde está el valor de la flexibilidad en este proyecto específico y por qué es importante considerar una evaluación por medio de ROA. Según Mun (2002), un proyecto tiene valor

estratégico solo cuando: 1) existe incertidumbre, 2) la incertidumbre hace parte de las variables del proyecto, 3) la gerencia del proyecto tiene flexibilidad, 4) la flexibilidad de la gerencia es creíble y ejecutable y 5) la gerencia es racional a la hora de ejecutar la estrategia. Si se atienden los puntos 1 y 2, la variable de incertidumbre que incide en el proyecto es el precio internacional de venta, para lo que se tomó como referencia el índice MXAPGMI, que representa los precios en la Ciudad de México del aguacate *Hass* proveniente de Michoacán y que se presenta en la figura 3. Para validar la volatilidad de los datos presentados se calculó la desviación estándar anual, que alcanzó niveles de 57,4%.

Figura 3. Índice MXAPGMI como referencia del precio internacional de venta



Fuente: elaboración propia con base en Bloomberg (2019)

En cuanto a los puntos 3, 4 y 5, se presenta la opción de expansión y abandono. La primera ocurre a partir de la compra inicial de un terreno suficientemente grande para construir y operar la fase 1 del proyecto, con la posibilidad de ampliar o expandir, con el fin de doblar la capacidad normal en caso de resultados positivos. Por lado, existe la opción de abandono, que se presenta a partir de la posibilidad de liquidar los activos y cerrar las operaciones, con el propósito de entregar los derechos de explotación y comercialización a un tercero. Vale la pena mencionar

que ambas opciones están dentro de las facultades de la gerencia y es posible ejecutarlas según se obtenga información apropiada de los escenarios de incertidumbre.

Valoración del proyecto por medio de opciones reales

Para el proceso de valoración por metodología del DCF se consideró un proyecto similar como referencia; sus datos se modificaron y se introdujeron varios supuestos con el fin de conservar la confidencialidad de la compañía. La proyección se llevó a cabo para un período de diez años, en el que los ingresos están determinados por el volumen de fruta procesada, según la capacidad de la planta y el precio internacional de venta. El resultado bruto corresponde a los ingresos menos los costos asociados con la producción; entre los principales están: el costo de compra de fruta fresca, el de la mano de obra y los logísticos; además, se estimó una estructura administrativa y de ventas para soportar la operación, de modo que el principal rublo en esta sección corresponde al gasto de personal. Por otra parte, también se estimaron las condiciones de capital de trabajo como financiación de cartera, inventarios y anticipos a proveedores, al igual que financiación vía proveedores y obligaciones laborales. Por último, se estimaron inversiones para la reposición de activos fijos (*capital expenditures* o Capex) equivalentes al saldo de depreciación de cada período, con el fin de conservar el valor de los activos en el tiempo.

La estructura de capital del proyecto comprende una relación de 40% de deuda y 60% de capital social; el costo de la financiación se estimó en 8% anual para las obligaciones financieras, mientras que para el costo o retorno exigido por accionistas se empleó el modelo de valoración de activos (*capital asset pricing model* o CAPM), que considera la tasa libre de riesgo, el diferencial de rendimientos del país referenciados en el índice de bonos de mercados emergentes (*emerging*

market bond index o EMBI), la beta del sector para mercado emergentes y la prima de mercado. Con los elementos anteriores y si se considera una tasa de impuesto del 30% anual, se estimó el costo promedio ponderado de capital (WACC, por las siglas de la expresión en inglés *weighted average cost of capital*) evidenciado en la ecuación 7, cuyo valor reúne el riesgo propio del proyecto al tener en cuenta sus fuentes de financiación y sus costos. Esta tasa se utilizó para el descuento de flujos de caja libre del proyecto.

$$WACC = Ke * \%E + Kd * \%D * (1 - T) \quad (7)$$

Donde:

Ke: retorno exigido por accionistas.

%E: porcentaje de financiación vía patrimonio.

Kd: costo de la deuda.

%D: porcentaje de financiación vía deuda.

T: tasa impositiva.

Con base en lo anterior y de acuerdo con la metodología del NPV se llevó a cabo la valoración del proyecto por las metodologías de flujo de caja libre descontado con el costo de capital (*FCL @WACC*) y flujo de caja de capital descontado con el costo patrimonial desapalancado (*FCC @Ku*). Como resultado de las valoraciones, el valor presente (VP) de las operaciones fue de \$245.287 miles de millones y necesidad de inversión inicial del orden de \$29.746 miles de millones, lo que implica un NPV de \$215.541 miles de millones (anexo 1). A partir de estos resultados se establece la viabilidad del proyecto. Sin embargo, esta metodología es estática y no contempla las posibles variaciones de precios internacionales, como antes se mencionó, y debido a ello es relevante la evaluación por el método ROA.

Al inicio, para evaluar la opción de expansión se estimó el montaje de los equipos necesarios para duplicar la capacidad instalada y, por ende, su capacidad de generación de ingresos, con una demanda de inversión adicional de \$27.209 miles de millones. En este escenario, la valoración arrojó un VP de \$490.451 miles de millones y una inversión total de \$56.955 miles de millones, lo que da como resultado un NPV de \$433.496 miles de millones (anexo 2).

Para iniciar la valoración de las opciones reales se hizo necesario definir los parámetros para la construcción del árbol del activo:

S_0 : representa el precio inicial de activo y equivale al VP de las operaciones en el momento cero. Para el caso fue de \$245.287 miles de millones.

σ : volatilidad del activo; para el proyecto se definió como variable de incertidumbre el precio internacional de venta. A partir de la serie de tiempo diaria del índice MXAPGMI se estimó la desviación estándar anual que representó la dispersión de los datos y para este caso fue de 57,46%.

X : precio del ejercicio: es el valor de la inversión adicional que se requiere para ejecutar la opción. En este caso fue de \$27.209 miles de millones, ajustado cada año con la inflación+1,5% (Grupo Bancolombia, 2019), para la expansión y de \$297.166 miles de millones en el período 0, que corresponde al valor terminal del proyecto descontado con la inflación, para el abandono del proyecto.

r_f : tasa libre de riesgo: es el riesgo mínimo al que puede acceder un inversionista; se tomó la tasa de rendimiento de bonos de diez años de Estados Unidos con valor 2,5% (U. S. Department of the Treasury, 2019) y se indexó con el *spread* de riesgo de país para Colombia de 1,8% (Banco Central de Reserva del Perú, 2019), para un resultado ajustado de 4,4%.

Factor de expansión: corresponde al incremento que tiene la operación del proyecto en el momento de ejercer la opción. Se calculó como el cociente entre el valor

presente con expansión y el valor presente sin expansión. Para este trabajo fue de 2.

Factores de volatilidad al alza (*up*) y a la baja (*down*): son los valores de determinan el comportamiento del activo subyacente dependiendo de la incertidumbre. El movimiento al alza (u) para el ejercicio fue 1,78 mientras que el de a la baja (d) fue 0,56. El fundamento matemático para los valores u y d son las ecuación 8 y 9, en su orden:

$$u = e^{\sigma\sqrt{dt}} = e^{57,46\%\sqrt{1}} = 1,78 \quad (8)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{dt}} = e^{-57,46\%\sqrt{1}} = 0,56 \quad (9)$$

En la tabla 3 se consolidaron los insumos para la construcción del árbol binomial de eventos.

Tabla 3. Insumos para árbol de eventos

Variable	Valor
Tiempo de vencimiento (años)	10
Volatilidad	57,5%
Precio inicial del activo	\$245.287
Factor al alza (u)	1,78
Factor a la baja (d)	0,56
Factor de expansión	2,0
Tasa de interés	4,4%

Fuente: elaboración propia

A continuación, en la tabla 4 se presenta árbol binomial de eventos construido a partir de las variables anteriores. Se ofrece el valor presente del proyecto en cada

período al tener en cuenta los diferentes escenarios que ocurren con fundamento en la volatilidad esperada.

Tabla 4. Árbol de eventos del activo subyacente

Árbol de eventos del activo subyacente						
Paso	0	1	2	...	9	10
						\$76.751.417
					\$43.206.118	
						\$24.322.269
					\$13.691.875	
						\$7.707.646
					\$4.338.910	
						\$2.442.528
					\$1.374.986	
			\$774.029			\$774.029
		\$435.729			\$435.729	
	\$245.287		\$245.287	...		\$245.287
		\$138.081			\$138.081	
			\$77.731			\$77.731
					\$43.757	
						\$24.633

\$13.867	
	\$7.806
\$4.394	
	\$2.474
\$1.393	
	\$784

Fuente: elaboración propia

Opción de expansión: para la evaluación de esta opción se consideró el valor de expansión (FE) de dos veces a partir del valor de la inversión adicional en equipos e infraestructura por \$27.209 miles de millones; este precio de ejercicio se ajustó con la tasa de la inflación más un *spread* del 1,5% en cada período. El valor de cada nodo terminal se determinó a partir del máximo entre los valores del proyecto expandido y sin ser afectado. Lo anterior se explica en la fórmula 10.

$$C_t = \text{Max} [VP_t * FE - \text{Inv ini}_t - \text{Inv Mg}_t; VP_t - \text{Inv ini}_t] \quad (10)$$

A partir de los valores de los nodos terminales se calculó el valor del proyecto en los nodos intermedios mediante un análisis de inducción regresiva por medio de la fórmula 11, que considera el valor del proyecto expandido (decisión de expandir), el sin expansión (decisión de no expandir) y la opción de mantener el proyecto (decisión de esperar).

$$C_{t-1} = \text{Max} \left[VP_{t-1} * FE - \text{Inv ini}_{t-1} - \text{Inv Mg}_{t-1}; VP_{t-1} - \text{Inv ini}_{t-1}; \frac{(C_{ut} * p + C_{dt} * (1-p))}{e^{rf * \Delta t}} \right] \quad (11)$$

El árbol de decisión de la opción de expansión del proyecto se presenta en la tabla 5.

Tabla 5. Árbol de decisión para la opción de expansión

Árbol de decisión de la opción de expansión						
Paso	0	1	2	...	9	10
						\$153.375.660
					\$86.305.695	Expandir
					Expandir	\$48.543.643
					\$27.292.004	Expandir
					Expandir	\$15.322.726
					\$8.590.761	Expandir
					Expandir	\$4.795.127
					\$2.664.399	Expandir
			\$1.486.768		Expandir	\$1.458.966
		\$815.119	Esperar		\$786.355	Expandir
	\$439.680	Esperar	\$433.328	..	Expandir	\$401.748
	Esperar	\$225.084	Esperar		\$191.209	Expandir
		Esperar	\$104.665		Expandir	\$66.719
			Esperar		\$12.828	Expandir
					Esperar	-\$21.695
					-\$30.466	Sin expansión
					Sin expansión	-\$38.522

-\$39.939	Sin expansión
Sin expansión	-\$43.854
-\$42.940	Sin expansión
Sin expansión	-\$45.544
	Sin expansión

Fuente: elaboración propia

Opción de abandono: se consideró la posibilidad de que la gerencia decida continuar con las operaciones o abandonar el proyecto en cualquier momento del tiempo debido a su inviabilidad financiera o a resultados negativos. El valor de abandono se estimó como el valor terminal de la compañía en el período 10 por \$400.530 y se descontó con la inflación para hallar el saldo en cada uno de los años anteriores.

El valor de cada nodo terminal se determinó a partir del máximo valor entre la continuidad del proyecto y el valor de abandono de cada año. Es decir, con la fórmula 12.

$$C_t = \text{Max} [VP_t - \text{Inv ini}_t; \text{Valor abandono}_t] \quad (12)$$

Con fundamento en los valores de los nodos terminales se calculó el valor del proyecto en los nodos intermedios mediante un análisis de inducción regresiva con la fórmula 13, que considera el valor del proyecto actual (decisión de mantener), el de abandonarlo (decisión de abandonar) y el de mantener viva la acción (decisión de esperar).

$$C_{t-1} = \text{Max} \left[VP_{t-1} - \text{Inv ini}_{t-1}; \text{Valor abandono}_{t-1}, \frac{(C_{ut} * p + C_{dt} * (1-p))}{e^{rf * \Delta t}} \right] \quad (13)$$

El árbol de decisión de la opción de abandono del proyecto se presenta en la tabla 6.

Tabla 6. Árbol de decisión para la opción de abandono

Árbol de decisión de la opción de abandono						
Paso	0	1	2	...	9	10
						\$76.705.089
					\$43.161.785	Mantener
					Mantener	\$24.275.941
					\$13.647.542	Mantener
					Mantener	\$7.661.318
					\$4.294.577	Mantener
					Mantener	\$2.396.200
					\$1.330.653	Mantener
					Mantener	\$727.701
					\$575.979	Esperar
					\$507.744	Mantener
					\$419.680	Esperar
					\$423.550	Esperar
					...	Esperar
					\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$400.530
					\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$400.530
					\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$400.530
					\$388.864	Abandonar

Abandonar	\$400.530
\$388.864	Abandonar
Abandonar	\$400.530
\$388.864	Abandonar
Abandonar	\$400.530
	Abandonar

Fuente: elaboración propia

Opción de escogencia: en este escenario la gerencia cuenta con la flexibilidad de elegir entre las estrategias de expandir o abandonar el proyecto en cualquier momento en el horizonte de evaluación. Esta opción real considera la combinación de las mejores decisiones de las opciones antes expuestas.

El valor de cada nodo terminal se determinó a partir del máximo del valor entre el proyecto expandido y el de abandono. Lo anterior se explica en la fórmula 14.

$$C_t = \text{Max}[C_t \text{ Expansión}; C_t \text{ Abandono}] \quad (14)$$

Con base en los valores de los nodos terminales se calculó el valor del proyecto en los nodos intermedios mediante un análisis de inducción regresiva con la fórmula 15, que considera el valor del proyecto expandido (decisión de expandir), el de abandonarlo (decisión de abandonar) y el de mantenerlo (decisión de esperar).

$$C_{t-1} = \text{Max} \left[C_{t-1} \text{ Expansión}; C_{t-1} \text{ Abandono}; \frac{(C_{ut} * p + C_{dt} * (1-p))}{e^{rf * \Delta t}} \right] \quad (15)$$

El árbol de decisión de la opción de escogencia del proyecto se presenta en la tabla 7.

Tabla 7. Árbol de decisión para la opción de escogencia

Árbol de decisión de la opción de escogencia						
Paso	0	1	2	...	9	10
						\$153.375.660
					\$86.305.695	Expandir
					Expandir	\$48.543.643
					\$27.292.004	Expandir
					Expandir	\$15.322.726
					\$8.590.761	Expandir
					Expandir	\$4.795.127
					\$2.664.399	Expandir
			\$872.296		Expandir	\$1.458.966
		\$575.979	Esperar		\$786.355	Expandir
	\$419.680	Esperar	\$423.550	...	Expandir	\$401.748
	Esperar	\$347.851	Esperar		\$388.864	Expandir
		Esperar	\$323.762		Abandonar	\$400.530
			Esperar		\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$400.530
					\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$400.530

\$388.864	Abandonar
Abandonar	\$400.530
\$388.864	Abandonar
Abandonar	\$400.530
	Abandonar

Fuente: elaboración propia

Las tablas 5, 6 y 7 presentan las diferentes decisiones o flexibilidad que la gerencia del proyecto puede ejecutar según escenarios de incertidumbre. Los árboles de decisión completos se encuentran en el anexo 3.

Análisis de resultados

La valoración del proyecto sin considerar ningún tipo de flexibilidad presentó viabilidad financiera pues su resultado por medio del VPN fue de \$215.541 miles de millones. Sin embargo, al no considerar el valor de las opciones se está excluyendo el “verdadero” valor que posee el proyecto.

Si se analiza el árbol de decisión de escogencia se concluye que el mejor momento para expandir el proyecto es el período 5, cuando el valor alcanza \$8.604.464 miles de millones, mientras que en la opción de abandono es conveniente contemplarla desde el año 4, cuando el valor del nodo es equivalente al valor de abandono de \$335.437 miles de millones.

Para definir cuál es el valor de contar con las opciones de expansión, abandono y escogencia se aplicó la fórmula 6, que consiste en buscar la diferencia entre el NVP

estratégico y el NVP estático; a continuación, en la tabla 8 se presentan los resultados.

Tabla 8. Valor de la opción según su tipo

Tipo de opción	NVP estratégico	NVP estático	Valor de la opción
Expansión	\$439.680	\$215.541	\$224.139
Abandono	\$419.680	\$215.541	\$204.140
Escogencia	\$610.427	\$215.541	\$394.886

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la tabla anterior, el valor de la opción que maximiza el valor del proyecto conforme es mayor la flexibilidad fue la del escenario de escogencia.

Conclusiones

La metodología de valoración tradicional de flujo de caja descontado permite estimar el valor de un proyecto según su generación operativa de efectivo. Sin embargo, este método presenta limitaciones a la hora de estimar y capturar el valor de un proyecto en el que la gerencia cuenta con flexibilidad y poder de toma de decisiones. Esta restricción se subsanó gracias al análisis de opciones reales (ROA). Es importante tener en cuenta que ambos métodos son complementarios y no sustitutos, pues su análisis por separado no permite la evaluación integral de proyectos.

Es importante para la dirección de proyectos similares tener en cuenta el valor generado a partir de la flexibilidad de poder adoptar decisiones estratégicas conforme se obtenga más información y los niveles de incertidumbre disminuyan. Dicha flexibilidad le permite a la compañía abandonar proyectos en los que los costos iniciales en activos fijos son elevados y poder recuperar parte de ese costo hundido. A su vez, cuando se tiene la opción de expansión no se está en obligación de estar limitado a espacios físicos y capacidad técnica rígidos.

Referencias

- Agaton, C. B., & Karl, H. (2018). A real options approach to renewable electricity generation in the Philippines. *Energy, Sustainability and Society*, 8(1), 1-9. doi: 10.1186/s13705-017-0143-y
- Banco Central de Reserva del Perú (2019). *Indicadores de riesgo para países emergentes. Índice de bonos de mercados emergentes (EMIB). Diferencial de rendimientos contra bonos del Tesoro de Estados Unidos de América (EUA)*. Lima: Banco Central de Reserva del Perú. Recuperado de www.bcrp.gob.pe/docs/Estadisticas/Cuadros-Estadisticos/NC_037.xls
- Berk, J., y DeMarzo, P. (2008). *Finanzas corporativas*. Ciudad de México: Pearson Education.
- Black, F., & Scholes, M. (1973). The pricing of options and corporate liabilities. *Journal of Political Economy*, 81(3), 637-654. doi: 10.1086/260062
- Bloomberg L.P. (2019) Grafica de índice de precios en Ciudad de México para aguacate Hass proveniente de Michoacán (Índice MXAPAGMI) desde el 5 febrero 2016 hasta 5 febrero 2019. Recuperado el 7 de febrero de 2019 de terminal Bloomberg

- Boyle, P. P. (1977). Options: a Monte Carlo approach. *Journal of Financial Economics*, 4(3), 323-338. doi: 10.1016/0304-405X(77)90005-8
- Brandão, L. E., Fernandes, G., & Dyer, J. S. (2018). Valuing multistage investment projects in the pharmaceutical industry. *European Journal of Operational Research*, 271(2), 720-732. doi: 10.1016/j.ejor.2018.05.044
- Chaves Restrepo, M. (2018, 27 de septiembre). Producción de aguacate hass crecería 237% este año hasta las 95.520 toneladas. *La República*. Recuperado de <https://www.larepublica.co/economia/produccion-de-aguacate-hass-creceria-237-este-ano-hasta-las-95520-toneladas-2775647>
- Chevalier-Roignant, B., Flath, C. M., Huchzermeier, A., & Trigeorgis, L. (2011). Strategic investment under uncertainty: a synthesis. *European Journal of Operational Research*, 215(3), 639-650. doi: 10.1016/j.ejor.2011.05.038
- Contreras Andreoli, H., y Muñoz Rojas, G. (2013). *Opciones reales. Enfoque para las decisiones de inversión bajo alta incertidumbre*. Bogotá: Ediciones de la U. Recuperado de <https://studylib.es/doc/7497252/opciones-reales--enfoque-para-las-decisiones-de-inversi%C3%B3n>
- Cox, J. C., Ross, S. A., & Rubinstein, M. (1979). Option pricing: a simplified approach. *Journal of Financial Economics*, 7(3), 229-263. doi: 10.1016/0304-405X(79)90015-1
- Čulík, M. (2015). Real options valuation with changing volatility. *Perspectives in Science*, 7, 10-18. doi: 10.1016/j.pisc.2015.11.004
- Fernández, P. (2008, agosto). Valoración de opciones reales: dificultades, problemas y errores. Barcelona: Universidad de Navarra, IESE Business School, documento de investigación DI-760. doi: 10.2139/ssrn.1159045
- Gazheli, A., & van den Bergh, C. J. M. (2018). Real options analysis of investment in solar vs. wind energy: diversification strategies under uncertain prices and

costs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2693-2704. doi: 10.1016/j.rser.2017.09.096

Grupo Bancolombia (2019). *Tabla macroeconómicos proyectados*. Medellín: Grupo Bancolombia. Recuperado de <https://www.grupobancolombia.com/wps/portal/empresas/capital-inteligente/investigaciones-economicas/publicaciones/tablas-macroeconomicos-proyectados>

Guzmán Vásquez, J. M. C., y Giraldo Alzate, E. F. (2018). *Valoración de una empresa colombiana de tipo start-up por medio de la metodología de opciones reales* (trabajo de grado, Maestría en Administración Financiera, Universidad EAFIT, Medellín). Recuperado de <https://repository.eafit.edu.co/xmlui/handle/10784/13162>

Henao, A., Sauma, E., & Gonzalez, A.(2018). Impact of introducing flexibility in the Colombian transmission expansion planning. *Energy*, 157, 131-140. doi: 10.1016/j.energy.2018.05.143

Hernandez-Perdomo, E. A., Mun, J., & Rocco S., C. M. (2017). Active management in state-owned energy companies: integrating a real options approach into multicriteria analysis to make companies sustainable. *Applied Energy*, 195, 487-502. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.03.068

Kim, K., Park, H., & Kim, H. (2017). Real options analysis for renewable energy investment decisions in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 918-926. doi: 10.1016/j.rser.2016.11.073

Koller, T., Goedhart, M., Wessels, D., & McKinsey & Company (2010). *Valuation: measuring and managing value of the companies*, 4ª ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- Mascareñas, J. (1999). *Opciones reales en la valoración de proyectos de inversión*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid. Recuperado de https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2314567
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2019, 18 de enero). *Colombia se convierte en productor de aguacate Hass de clase mundial*. Bogotá: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/Colombia-se-convierte-en-productor-de-aguacate-Hass-de-clase-mundial.aspx>
- Mun, J. (2002). *Real options analysis : tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Pareja Vasseur, J., Mejía Aguirre, M., y Gallego Gómez, M. (2016). Evaluación mediante opciones reales de proyectos de inversión en el sector de distribución de combustibles. *Estocástica: Finanzas y Riesgo*, 6(2), 219-246. Recuperado de <http://estocastica.azc.uam.mx/index.php/re/article/view/18/17>
- Rózsa, A. (2015). Real option as a potential link between financial and strategic decision-making. *Procedia Economics and Finance*, 32(15), 316-323. doi: 10.1016/s2212-5671(15)01398-2
- Sánchez Soliño, A., Lara Galera, A. L., & Cabero Colín, F. (2018). Valuation of the option of early reversion in road concessions. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 18(2), 239-249. doi: 10.18757/ejtir.2018.18.2.3232
- Támara Ayús, A. L., y Aristizábal Velásquez, R. E. (2012). Las opciones reales como metodología alternativa en la evaluación de proyectos de inversión. *Ecos de Economía*, 16(35), 29-44. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/ecos/v16n35/v16n35a2.pdf>

U. S. Department of the Treasury (2019). *Daily treasury yield curve rates*. Washington, DC: U. S. Department of the Treasury. Recuperado de <https://www.treasury.gov/resource-center/data-chart-center/interest-rates/Pages/TextView.aspx?data=yield>

Anexos

Anexo 1. Valoración por el método del NVP

Flujo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja libre	-\$29.746	\$730	\$4.886	\$8.760	\$12.825	\$16.439	\$18.393	\$20.485	\$22.724	\$24.744	\$25.800
Flujo de caja de la deuda	\$13.141	-\$1.927	-\$1.857	-\$1.787	-\$1.717	-\$1.647	-\$1.577	-\$1.507	-\$1.437	-\$1.367	-\$1.297
Flujo de caja con beneficio tributario	\$0	\$315	\$294	\$273	\$252	\$231	\$210	\$189	\$168	\$147	\$126
Flujo de caja de la financiación	\$13.141	-\$1.612	-\$1.563	-\$1.514	-\$1.465	-\$1.416	-\$1.367	-\$1.318	-\$1.269	-\$1.220	-\$1.170
Flujo de caja del inversionista	-\$16.605	-\$882	\$3.323	\$7.246	\$11.360	\$15.024	\$17.026	\$19.167	\$21.455	\$23.524	\$24.630
Flujo de caja del capital	-\$29.746	\$1.045	\$5.181	\$9.034	\$13.078	\$16.671	\$18.603	\$20.674	\$22.892	\$24.891	\$25.926
Costo de capital	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ku	8,7%	9,9%	9,3%	9,3%	9,7%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%
Ke		9,2%	10,0%	9,4%	9,4%	9,7%	9,8%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%
Kd		8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Porcentaje de patrimonio		0,0%	94,6%	95,4%	96,0%	96,6%	97,0%	97,4%	97,7%	98,1%	98,4%
Porcentaje de deuda		0,0%	5,4%	4,6%	4,0%	3,4%	3,0%	2,6%	2,3%	1,9%	1,6%

Tasa impositiva		30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
WACC		0,0%	9,7%	9,2%	9,2%	9,6%	9,7%	9,7%	9,6%	9,6%	9,6%

FCC@Ku	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ku	8,7%	9,9%	9,3%	9,3%	9,7%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%
Flujo de caja del capital	-\$29.746	\$1.045	\$5.181	\$9.034	\$13.078	\$16.671	\$18.603	\$20.674	\$22.892	\$24.891	\$25.926
Valor terminal											\$398.572
Flujo descontado (valor de la empresa)	\$245.287	\$267.561	\$287.328	\$305.087	\$321.471	\$336.154	\$350.229	\$363.413	\$375.653	\$387.078	\$398.572
Saldo de la deuda	\$13.141	\$12.265	\$11.389	\$10.513	\$9.637	\$8.761	\$7.885	\$7.009	\$6.133	\$5.257	\$4.380
Valor del patrimonio	\$231.360	\$255.296	\$275.939	\$294.574	\$311.834	\$327.393	\$342.344	\$356.404	\$369.521	\$381.821	\$394.191
Valor presente neto	\$215.541										

FCL@WACC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WACC		9,7%	9,2%	9,2%	9,6%	9,7%	9,7%	9,6%	9,6%	9,6%	9,6%
NOPLAT	-\$717	\$2.470	\$6.904	\$10.361	\$14.602	\$16.517	\$18.568	\$20.763	\$23.111	\$24.155	\$25.243
Flujo de caja libre	-\$29.746	\$730	\$4.886	\$8.760	\$12.825	\$16.439	\$18.393	\$20.485	\$22.724	\$24.744	\$25.800
Valor terminal											\$400.530

Flujo descontado (valor de la empresa)	\$245.287	\$268.423	\$288.270	\$306.116	\$322.598	\$337.390	\$351.585	\$364.899	\$377.282	\$388.864	\$400.530
Saldo de la deuda	\$13.141	\$12.265	\$11.389	\$10.513	\$9.637	\$8.761	\$7.885	\$7.009	\$6.133	\$5.257	\$4.380
Valor del patrimonio	\$232.146	\$256.158	\$276.881	\$295.603	\$312.961	\$328.630	\$343.700	\$357.890	\$371.150	\$383.607	\$396.149
Valor presente neto	\$215.541										

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Valoración por el método del NVP expandido

Flujo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Flujo de caja libre	-\$56.955	\$1.522	\$9.773	\$17.521	\$25.650	\$32.879	\$36.785	\$40.969	\$45.448	\$49.487	\$51.600
Flujo de caja de la deuda	\$25.243	-\$3.702	-\$3.568	-\$3.433	-\$3.298	-\$3.164	-\$3.029	-\$2.895	-\$2.760	-\$2.625	-\$2.491
Flujo de caja con beneficio tributario		\$606	\$565	\$525	\$485	\$444	\$404	\$363	\$323	\$283	\$242
Flujo de caja de financiación	\$25.243	-\$3.096	-\$3.002	-\$2.908	-\$2.814	-\$2.719	-\$2.625	-\$2.531	-\$2.437	-\$2.343	-\$2.248
Flujo de caja del inversionista	-\$31.712	-\$1.575	\$6.770	\$14.613	\$22.837	\$30.159	\$34.160	\$38.438	\$43.011	\$47.145	\$49.352
Flujo de caja del capital	-\$56.955	\$2.128	\$10.338	\$18.046	\$26.135	\$33.323	\$37.189	\$41.333	\$45.771	\$49.770	\$51.843

Costo de capital	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ku	8,7%	9,9%	9,3%	9,3%	9,7%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%
Ke		9,2%	10,0%	9,4%	9,4%	9,7%	9,8%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%
Kd		8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%	8,0%
Porcentaje de patrimonio		0,0%	94,8%	95,6%	96,2%	96,7%	97,1%	97,5%	97,8%	98,1%	98,4%
Porcentaje de deuda		0,0%	5,2%	4,4%	3,8%	3,3%	2,9%	2,5%	2,2%	1,9%	1,6%
Tasa impositiva		30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
WACC		0,0%	9,7%	9,2%	9,2%	9,6%	9,7%	9,7%	9,6%	9,6%	9,6%

FCC@Ku	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ku	8,7%	9,9%	9,3%	9,3%	9,7%	9,8%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%	9,7%
Flujo de caja del capital	-\$56.955	\$2.128	\$10.338	\$18.046	\$26.135	\$33.323	\$37.189	\$41.333	\$45.771	\$49.770	\$51.843
Valor terminal											\$797.144
Flujo descontado (valor de la empresa)	\$488.943	\$535.019	\$574.567	\$610.098	\$642.877	\$672.256	\$700.418	\$726.797	\$751.287	\$774.147	\$797.144
Saldo de la deuda	\$25.243	\$23.560	\$21.877	\$20.194	\$18.511	\$16.829	\$15.146	\$13.463	\$11.780	\$10.097	\$8.414
Valor del patrimonio	\$463.700	\$511.459	\$552.690	\$589.904	\$624.366	\$655.428	\$685.272	\$713.334	\$739.507	\$764.050	\$788.729
Valor presente neto	\$431.987										

FCL@WACC	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
WACC		9,7%	9,2%	9,2%	9,6%	9,7%	9,7%	9,6%	9,6%	9,6%	9,6%
NOPLAT	-\$1.084	\$4.940	\$13.808	\$20.722	\$29.205	\$33.034	\$37.135	\$41.526	\$46.223	\$48.309	\$50.486
Flujo de caja libre	-\$56.955	\$1.522	\$9.773	\$17.521	\$25.650	\$32.879	\$36.785	\$40.969	\$45.448	\$49.487	\$51.600
Valor terminal											\$800.904
Flujo descontado (valor de la empresa)	\$488.943	\$536.674	\$576.375	\$612.073	\$645.042	\$674.630	\$703.021	\$729.650	\$754.416	\$777.577	\$800.904
Saldo de la deuda	\$25.243	\$23.560	\$21.877	\$20.194	\$18.511	\$16.829	\$15.146	\$13.463	\$11.780	\$10.097	\$8.414
Valor del patrimonio	\$465.209	\$513.114	\$554.498	\$591.879	\$626.531	\$657.802	\$687.875	\$716.188	\$742.636	\$767.479	\$792.490
Valor presente neto	\$431.987										

Fuente: elaboración propia

Anexo 3. Árboles de decisión

Árbol de decisión de la opción de expansión											
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
											\$153.375.660
										\$86.305.695	Expandir

								\$48.551.118	Expandir	\$48.543.643
							\$27.299.157	Expandir	\$27.292.004	Expandir
						\$15.337.046	Expandir	\$15.330.201	Expandir	\$15.322.726
				\$8.604.464	Expandir	\$8.597.914	Expandir	\$8.590.761	Expandir	Expandir
			\$4.815.715	Expandir	\$4.809.447	Expandir	\$4.802.602	Expandir	Expandir	\$4.795.127
		\$2.684.422	Expandir	\$2.678.103	Expandir	\$2.671.552	Expandir	\$2.664.399	Expandir	Expandir
	\$1.486.768	Esperar	\$1.480.152	Expandir	\$1.473.286	Expandir	\$1.466.441	Expandir	Expandir	\$1.458.966
	\$815.119	Esperar	\$808.436	Esperar	\$801.137	Expandir	\$793.508	Expandir	\$786.355	Expandir
\$439.680	Esperar	\$433.328	Esperar	\$426.106	Esperar	\$417.981	Expandir	\$409.223	Expandir	\$401.748
Esperar	\$225.084	Esperar	\$218.481	Esperar	\$210.775	Esperar	\$201.722	Expandir	\$191.209	Expandir
	Esperar	\$104.665	Esperar	\$97.981	Esperar	\$89.980	Esperar	\$80.064	Expandir	\$66.719
		Esperar	\$37.491	Esperar	\$30.986	Esperar	\$23.084	Esperar	\$12.828	Expandir
			Esperar	\$448	Esperar	-\$5.554	Esperar	-\$12.713	Esperar	-\$21.695
				Esperar	-\$19.619	Esperar	-\$24.816	Esperar	-\$30.466	Sin expansión
					Esperar	-\$30.329	Esperar	-\$34.618	Sin expansión	-\$38.522
						Esperar	-\$36.203	Sin expansión	-\$39.939	Sin expansión
							Sin expansión	-\$39.950	Sin expansión	-\$43.854
								Sin expansión	-\$42.940	Sin expansión

Sin expansión	-\$45.544
Sin expansión	

Árbol de decisión de la opción de abandono										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
										\$76.705.089
									\$43.161.785	Mantener
								\$24.279.845	Mantener	\$24.275.941
							\$13.651.278	Mantener	\$13.647.542	Mantener
						\$7.668.798	Mantener	\$7.665.222	Mantener	\$7.661.318
					\$4.314.627	Mantener	\$4.298.313	Mantener	\$4.294.577	Mantener
			\$2.450.375	Esperar	\$2.426.035	Mantener	\$2.400.104	Mantener	\$2.396.200	Mantener
		\$1.426.760	Esperar	\$1.404.564	Esperar	\$1.373.141	Mantener	\$1.330.653	Mantener	Mantener
	\$872.296	Esperar	\$858.547	Esperar	\$836.121	Esperar	\$798.757	Mantener	\$727.701	Mantener
	\$575.979	Esperar	\$571.871	Esperar	\$562.664	Esperar	\$544.500	Esperar	\$507.744	Mantener
\$419.680	Esperar	\$423.550	Esperar	\$425.484	Esperar	\$424.297	Esperar	\$417.428	Esperar	\$400.530
Esperar	\$347.851	Esperar	\$357.260	Esperar	\$366.668	Esperar	\$376.569	Esperar	\$388.864	Abandonar
	Esperar	\$323.762	Esperar	\$338.786	Esperar	\$355.866	Esperar	\$377.538	Abandonar	\$400.530

Esperar	\$325.667	Esperar	\$345.501	Abandonar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	Abandonar
	Abandonar	\$335.437	Abandonar	\$355.866	Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530
		Abandonar	\$345.501	Abandonar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	Abandonar
			Abandonar	\$355.866	Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530
				Abandonar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530
						Abandonar	\$388.864	Abandonar
							Abandonar	\$400.530
								Abandonar

Fuente: elaboración propia

Árbol de decisión de la opción de escogencia										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
										\$153.375.660
									\$86.305.695	Expandir
								\$48.551.118	Expandir	\$48.543.643

								\$27.299.157	Expandir	\$27.292.004	Expandir
							\$15.337.046	Expandir	\$15.330.201	Expandir	\$15.322.726
						\$8.604.464	Expandir	\$8.597.914	Expandir	\$8.590.761	Expandir
				\$4.828.331	Expandir	\$4.809.447	Expandir	\$4.802.602	Expandir	\$4.795.127	Expandir
		\$2.727.529	Esperar	\$2.699.999	Expandir	\$2.671.552	Expandir	\$2.664.399	Expandir	\$2.664.399	Expandir
	\$1.572.444	Esperar	\$1.546.518	Esperar	\$1.511.260	Expandir	\$1.466.441	Expandir	\$1.458.966	\$1.458.966	Expandir
	\$945.760	Esperar	\$928.473	Esperar	\$901.684	Esperar	\$859.334	Expandir	\$786.355	\$786.355	Expandir
\$610.427	Esperar	\$603.233	Esperar	\$590.353	Esperar	\$567.157	Esperar	\$523.298	Expandir	\$401.748	\$401.748
Esperar	\$434.864	Esperar	\$433.781	Esperar	\$429.104	Esperar	\$416.799	Esperar	\$388.864	\$388.864	Expandir
	Esperar	\$356.214	Esperar	\$362.817	Esperar	\$369.983	Esperar	\$377.538	Abandonar	\$400.530	\$400.530
		Esperar	\$331.513	Esperar	\$346.029	Esperar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	\$388.864	Abandonar
			Esperar	\$335.437	Esperar	\$355.866	Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530	\$400.530
				Abandonar	\$345.501	Abandonar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	\$388.864	Abandonar
					Abandonar	\$355.866	Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530	\$400.530
						Abandonar	\$366.541	Abandonar	\$388.864	\$388.864	Abandonar
							Abandonar	\$377.538	Abandonar	\$400.530	\$400.530
								Abandonar	\$388.864	\$388.864	Abandonar
									Abandonar	\$400.530	\$400.530

Fuente: elaboración propia