

# Evaluación de un proyecto estratégico de administración de capacidad considerando flexibilidad operativa y opciones reales\*

## Camilo Andrés Micán-Rincón

Magister en Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle, Profesor asistente, Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle – Colombia. Miembro del grupo de investigación en logística y producción de la Escuela de Ingeniería Industrial de la Universidad del Valle. Cali, Colombia  
camilo.mican@correounivalle.edu.co

## Paola Yineth Acosta-Ortiz

Estudiante de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia.  
paola.acosta.ortiz@correounivalle.edu.co

## Andrés Fernando Sánchez-Muñoz

Estudiante de Ingeniería Industrial. Universidad del Valle. Cali, Colombia.  
andres.sanchez.munoz@correounivalle.edu.co

## RESUMEN

El desarrollo competitivo empresarial se basa en la satisfacción de las necesidades cambiantes de los clientes, por lo cual las empresas deben integrar la flexibilidad en la toma de decisiones para adaptar rápidamente su sistema productivo a dichos cambios. Las decisiones estratégicas de inversión en administración de la capacidad son de gran importancia en este proceso, debido a su carácter financiero y de largo plazo, por consiguiente, es necesario que estas sean evaluadas con precisión. Este documento plantea la evaluación de estas decisiones involucrando la valoración de la flexibilidad, tanto operativa como financiera, en una empresa del sector papel en el Valle del Cauca. En relación con esto, se caracterizaron las decisiones y los criterios a tener en cuenta al momento de evaluarlas usando como base la revisión de bibliografía especializada y el juicio de expertos. Por último, mediante un caso de estudio se ejemplificó el modelo propuesto. Siguiendo esta metodología se deben tener en cuenta tanto los criterios cuantitativos como los cualitativos para la evaluación de proyectos estratégicos de administración de la capacidad, siendo al análisis de opciones reales un elemento fundamental para evaluar la flexibilidad de la decisión.

## PALABRAS CLAVE

Administración de capacidad, evaluación de decisiones, opciones reales, simulación Montecarlo, scoring, estrategia de operaciones

Recibido: 07/02/2015 Aceptado: 05/05/2015

\* Este artículo hace parte de proyecto de investigación profesoral "Integración de flexibilidad operativa y opciones reales para la evaluación multicriterio de decisiones estratégicas de administración de capacidad en empresas manufactureras", desarrollado por el autor en el marco de los proyectos internos de la Universidad del Valle - Cali, Colombia.

<http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n2.22204> Este es un artículo Open Access bajo la licencia BY-NC-SA (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)

**Cómo citar este artículo:** MICÁN-RINCÓN, Camilo Andrés; ACOSTA-ORTIZ, Paola Yineth; SÁNCHEZ-MUÑOZ, Andrés Fernando. Evaluación de un proyecto estratégico de administración de capacidad considerando flexibilidad operativa y opciones reales. *En*: Entramado. Julio - Diciembre, 2015 vol. 11, no. 2, p. 226-239, <http://dx.doi.org/10.18041/entramado.2015v11n2.22204>

## Evaluation of a capacity management strategical project considering operative flexibility and real options

### ABSTRACT

Competitive business development is based on the satisfaction of the changeable needs of the clients; therefore the companies must integrate flexibility in decision-making to adapt rapidly their productive system to those changes. Strategic decisions of investment on capacity management are critical in this process considering its long-term financial nature; consequently, it is necessary that they are assessed accurately. This document presents the evaluation of these decisions involving the assessment of both operational and financial flexibility in a paper company in Valle del Cauca. In this regard, decisions and criteria were characterized for taking into account the review of specialized bibliography and expert judgment at the time of evaluating them. Finally, the proposed model was exemplified by means of a case study. Following this methodology, it should be taken into account both quantitative and qualitative criteria for the evaluation of strategic projects of capacity management, being the real option analysis a key element to assess the flexibility of decision.

### KEYWORDS

Capacity management, decision evaluation, real options, Monte Carlo simulation, scoring, operations strategy.

## Avaliação de um projeto estratégico de administração de capacidades considerando a flexibilidade operacional e as opções reais

### RESUMO

O desenvolvimento competitivo empresarial se baseia na satisfação das necessidades em mudança dos clientes, pelo que as empresas devem integrar a flexibilidade na tomada de decisões para adaptar rapidamente seu sistema produtivo a essas mudanças. As decisões estratégicas de investimento na administração de capacidades têm uma grande importância nesse processo, devido a seu caráter financeiro e de longo prazo, conseqüentemente, é necessário que elas sejam avaliadas com precisão. Este documento apresenta a avaliação dessas decisões envolvendo a valorização da flexibilidade tanto operativa como financeira em uma empresa do setor do papel em Valle del Cauca. Com relação a isto, são caracterizadas as decisões e os critérios a ter em conta no momento de avaliá-las usando como base a revisão de bibliografia especializada e a opinião dos peritos. Por último, foi exemplificado o modelo proposto por meio de um caso de estudo. Seguindo essa metodologia, devem ser tidos em conta tanto os critérios quantitativos quanto os qualitativos para a avaliação dos projetos estratégicos de administração da capacidade, sendo a análise das opções reais um elemento fundamental para avaliar a flexibilidade da decisão.

### PALAVRAS-CHAVE

Administração de capacidade, avaliação de decisões, opções reais, simulação de Montecarlo, scoring, estratégia de operações.

### Introducción

Actualmente las organizaciones compiten en un ambiente en el cual prima la incertidumbre, donde la capacidad para responder a los cambios es un factor trascendental para su competitividad empresarial, haciendo cada vez más relevante la adecuada toma de decisiones estratégicas, siempre en un marco que valore la flexibilidad operativa, pues es dicha flexibilidad la que permitirá responder a los cambios del entorno.

Según Manyoma (2006), la flexibilidad en la manufactura se entiende

como un concepto complejo y multidimensional que representa la habilidad o capacidad de un sis-

tema de producción para adaptarse con éxito a las condiciones cambiantes del entorno, a las necesidades del proceso y de los clientes, sin incurrir en grandes castigos de tiempo, esfuerzo, calidad, costo y desempeño.

Así, en el marco de las decisiones estratégicas asociadas al sistema productivo de una organización, se encuentran entre otras las decisiones de administración de la capacidad, que al ser de largo plazo y requerir grandes inversiones de capital son difícilmente reversibles, lo que conduce a que las organizaciones deban ser cuidadosas en la asignación de recursos, ya que estos son limitados, decidiendo no solo con base en criterios económicos, sino en criterios técnicos y estratégicos exclusivos para la toma de este tipo de decisiones.

El presente trabajo propone la evaluación de proyectos de administración de la capacidad integrando criterios estratégicos, técnicos y económicos, de manera que mediante dichos criterios se pueda incluir la flexibilidad propia de cada decisión; para esto, se tiene en cuenta el enfoque de las opciones reales como alternativa de valoración económica, la cual vincula el análisis, diseño y gestión de las inversiones estratégicas a nivel de proyectos, la visión estratégica empresarial, y la flexibilidad que se puede tener en cada decisión.

## I. Aspectos teóricos

### I.1. Estrategia de operaciones

Díaz (2003), define la estrategia de operaciones como:

Un plan a largo plazo donde se recogen el conjunto de decisiones o políticas, en estructura y en infraestructura, en materia de producción, que deben ser tomadas para conseguir los objetivos del área de producción (o prioridades competitivas), definidos y fijados en conformidad con la estrategia competitiva de la organización, con la finalidad de lograr una ventaja sobre los competidores que sea sostenible y de mejorar los resultados.

Al momento de hablar de la estructura de la estrategia de operaciones, es decir, determinar las distintas decisiones o políticas que la conforman, se pueden clasificar en dos categorías: decisiones estructurales e infraestructurales. Categorización definida inicialmente por Hayes y Wheelwright (1984), y ampliamente usada como referencia en el tema, de acuerdo con Díaz (2003), y Matta y Semeraro (2005).

En el marco de las decisiones estructurales, estas se caracterizan por ser de largo plazo, difícilmente reversibles y requerir grandes inversiones en capital, siendo la administración de la capacidad, el abastecimiento y la integración vertical, el diseño de instalaciones y la tecnología de procesos, los cuatro tipos de decisiones estructurales de la estrategia de operaciones (Matta y Semeraro, 2005; Boyer y Lewis, 2002; Corbett, 2008). Así, el presente proyecto se enfoca en la evaluación de las decisiones estructurales de administración de capacidad.

### I.2. Administración de capacidad

En el marco de las decisiones estratégicas de administración de capacidad existen diversos aspectos a considerar, uno de ellos es el referente a las dimensiones que envuelven dicha administración de la capacidad en términos de tipo, valor y

costo, donde la dimensión tipo define las decisiones entre capacidad común o avanzada, rígida o flexible, de capital intensivo o de no capital intensivo, y son de capacidad automatizada o manual (Matta y Semeraro, 2005).

Un segundo elemento, que se plantea desde la literatura y que debe ser tenido en cuenta al momento de tomar decisiones de administración de capacidad es el referente al momento y la cantidad de la expansión, para lo cual los factores específicos para la determinación de estas dos variables, son la oportunidad y el tamaño de la capacidad. (Krajewsky y Ritzman, 2000).

Finalmente, y teniendo como referente lo planteado por Díaz (2003), que toma como referencias vigentes los aportes estratégicos de Hayes y Wheelwright (1984), se plantea que existen cuatro etapas de desarrollo en el papel estratégico de la fabricación, siendo la etapa I la relacionada con minimizar el potencial negativo de la fabricación, la segunda dirigida a lograr paridad con los competidores, la tercera asociada a proporcionar apoyo a la estrategia de negocio y, la cuarta corresponde a buscar una base de fabricación como ventaja competitiva.

### I.3. Teoría de opciones reales y flexibilidad operativa

Una opción real es un derecho pero no una obligación para tomar un curso de acción en un tiempo determinado, lo que puede ser aconsejable tanto si hay un giro desafortunado en los eventos o si se presentan nuevas oportunidades, por tanto, equivale a una forma de seguro o un medio para tomar ventaja de una situación favorable cuyo activo es un activo real, ya sea un inmueble, una patente, una empresa o un proyecto de inversión, entre otros. Dichas opciones reales poseen seis variables (precio del activo subyacente, precio de ejercicio, tiempo hasta el vencimiento, riesgo o volatilidad, tipo de interés sin riesgo, dividendos), cuyo análisis pretende valorar la opción mediante un conjunto de técnicas para estimar la flexibilidad de un proyecto. El análisis de opciones reales es el conjunto de técnicas para valorar la flexibilidad de un proyecto (Mascareñas, Lamonthé, Lubián y Luna, 2004).

Las opciones reales como filosofía, destacan que son algo más que un instrumento de valoración, está compuesta por los derechos contingentes, los cuales permiten actuar dependiendo de las circunstancias a las que se enfrente el activo subyacente; la valoración de estas opciones se alinea con el mercado financiero, ya que son utilizados para obtener el valor del activo real que genera complejos flujos de caja, de no ser posible, el valor de estas opciones estratégicas es obtenido a través de otras metodologías. Dichas valoracio-

nes se realizan por medio de modelos ampliamente conocidos, uno es el método del árbol binomial, que muestra los posibles valores que puede tomar el proyecto por medio de árboles de decisión que involucra diversos escenarios en diferentes instantes de tiempo del activo subyacente. Otro de los métodos para realizar la valoración es a través del modelo Black & Scholes, que fue desarrollado antes que el modelo binomial con la diferencia que en el modelo Black & Scholes los períodos evaluados son instantáneos y es utilizado únicamente para opciones de tipo europeo (Mascaña *et al.*, 2004).

Al momento de valorar las decisiones de flexibilidad operacional, se considera la publicación presentada por Bengtsson (2001) como un referente en el tema, ya que realiza una revisión de documentación relacionada con los tipos de decisiones de flexibilidad operacional abordadas desde la teoría de opciones reales.

## 2. Caso de estudio

### 2.1. Descripción del caso empresarial

La propuesta de evaluación de decisiones estratégicas de administración de capacidad se basa en el desarrollo de un caso empresarial del sector real. La organización del caso de estudio pertenece a una cadena productiva que tiene como ventaja comparativa la cercanía con los países de América Latina frente a los productores de los Estados Unidos y, como ventajas competitivas la calidad del diseño y la calidad de la materia prima, la disponibilidad de mano de obra calificada, las capacidades en gestión empresarial, la confianza en las instituciones educativas y los niveles de desarrollo tecnológico. Sin embargo, debido a diferentes factores, como por ejemplo los avances tecnológicos, la demanda de sus principales productos ha disminuido.

El proceso productivo se caracteriza por ser de flujo continuo, que trabaja en un ambiente contra inventario (MTS – Make To Stock, por sus siglas en inglés); de esta forma el desarrollo productivo se divide en tres grandes etapas que constituyen de forma consolidada nueve subprocesos secuenciales, que en definitiva integran la cadena de valor.

Para analizar los tipos de decisión de administración de capacidad en las diferentes etapas del proceso productivo se realizó un cruce comparativo, de los nueve subprocesos versus los tipos de capacidad que plantean Matta y Semeraro (2005), y que se ilustran en la Tabla 1. En el marco de estos tipos de decisiones, el sistema de producción actual de la organización corresponde a un sistema común, flexible, de capital intensivo y automatizado.

Tabla 1.

Tipos de capacidad

Tipos de capacidad
(D1) - Común o avanzado
(D2) - Rígido o flexible
(D3) - Capital intensivo o no
(D4) - Automatizado o manual

Fuente: Basado en Matta y Semeraro (2005)

Para el desarrollo del trabajo de campo se contó con el juicio de un experto en el tema para la asignación de estas decisiones a las diferentes etapas del proceso productivo. Dicho experto es una persona con amplio conocimiento en el sistema operativo, tanto de la organización como del sector, a la vez que cuenta con el conocimiento en las características de cada una de las operaciones que conforman el proceso productivo. Además de dictar conocimientos, esta persona posee información estratégica en el negocio y por ende sabe de las diferentes opciones que se pueden tomar en la empresa para lograr una ventaja competitiva. El experto lleva más de quince años trabajando directamente en el sector objeto de estudio.

### 2.2. Enfoque de la propuesta de evaluación

La administración de la capacidad es una de las decisiones estructurales con mayor impacto en la flexibilidad organizacional, esto por tener relación directa con elementos de flexibilidad operativa (Corbett, 2008; Matta y Semeraro, 2005), en la cual “la empresa debe decidir el tipo de capacidad a usar en términos de flexibilidad y del sistema de producción” (Matta y Semeraro, 2005).

Para la evaluación de este tipo de proyectos se debe considerar que a menudo las inversiones siguen una secuencia natural de pasos, con múltiples puntos de decisión con respecto a continuar, postergar o abandonar; permitiendo a una organización responder a cambios en el entorno (Brach, 2003). El uso de criterios financieros tradicionales para la evaluación del criterio financiero de los proyectos como el Valor Presente Neto o la Tasa Interna de Retorno ignoran la flexibilidad asociada al proceso de toma de decisiones, puesto que asumen que las compañías mantendrán su decisión inalterada pese a los sucesos futuros, y no consideran la incertidumbre inherente a los negocios (Yeo y Qiu; 2003), la no consideración de las opciones implícitas en un proyecto conlleva a subvalorar y en general a desechar proyectos que se deberían realizar, dadas las opciones futuras relacionadas con el desempeño del entorno.

En las condiciones anteriores, se hace importante el uso de la teoría de opciones reales para valorar la flexibilidad

operativa (Bengtsson, 2001; Manyoma, 2011), puesto que es un método de valoración financiera que para su cálculo tiene en cuenta el grado de reversibilidad del proyecto, la incertidumbre asociada y el margen de maniobra del decisor; es decir, además de valorar los flujos futuros de caja provenientes de la inversión, valora los momentos de decisión y las opciones que se presentan a lo largo de la vida del proyecto (Mascareñas *et al.*, 2004).

También se debe tener en cuenta que la medición de la flexibilidad operativa no responde a un solo criterio de decisión, siendo el criterio financiero sólo uno de los que se deben tener en cuenta. En este sentido, Manyoma (2006) propone una forma de evaluar, la cual recoge todos los elementos descritos alrededor del análisis de flexibilidad en sistemas de producción usando técnicas multiatributo, en donde es necesario incluir criterios técnicos, externos y financieros; estos últimos modelados mediante la teoría de opciones reales.

### 2.3. Decisión estratégica de capacidad

Para ilustrar la evaluación de proyectos estratégicos de administración de la capacidad, se optó por realizar un caso de estudio en una empresa perteneciente a un sector dominante en la economía del Valle del Cauca, Colombia.

La decisión de administración de capacidad a trabajar se enfoca en la construcción de capacidad flexible. Lo anterior dado que la empresa maneja este tipo de decisión en su sistema de producción; como opción real, la opción de ampliación en la capacidad de su sub-proceso final, puesto que se estima un crecimiento de la demanda del 3% anual durante los próximos diez años.—Esto para su producto de mayor venta—.

La decisión de administración de capacidad se plantea como un desarrollo en dos fases. Así, la primera etapa consiste en realizar una inversión inicial en la capacidad del proceso final, para ello requiere una inversión inicial de \$ 15.384.560.000 para obtener una capacidad de 21.000 unidades, de esta manera, si la operación resulta exitosa, habrá una inversión suplementaria (Fase II) que permitirá aumentar su capacidad en 21.000 unidades adicionales.

## 3. Evaluación técnica y estratégica

### 3.1. Criterios

Debido a la importancia de la flexibilidad en manufactura como estrategia de operaciones, es necesario definir la manera de evaluar efectivamente dicha flexibilidad. Es aquí donde el adecuado manejo de los criterios de decisión se

hace relevante, pues deben permitir tener en cuenta el impacto organizacional de dichas decisiones de inversión en la flexibilidad de todo el sistema.

Stam y Kuula (1991) utilizan seis criterios globales, medidos mediante escalas cualitativas, cada uno con componentes detallados; posteriormente, Shang y Sueyoshi (1995) plantean el uso de cuatro criterios que al desagregarlos responden a once sub-criterios de decisión. Por su parte Chang, Jiang y Tang (2000) mencionan que el diseño de un sistema de manufactura flexible es una tarea compleja que considera dos importantes características: la variedad de alternativas de sistemas de control estratégicos y configuraciones disponibles; y la variedad de criterios de selección involucrados en los sistemas de manufactura flexibles, que son difíciles de cuantificar.

En el año 2006, Pablo Manyoma propone, como resultado de su investigación, que los criterios asociados a la flexibilidad operativa pueden agruparse en tres elementos básicos, también llamados criterios: técnicos, económicos y externalidades; y plantea para cada uno de estos tres criterios y unos subgrupos que, a su vez, se desagregan en componentes específicos. Al analizar la propuesta de Manyoma (2006), se definió que en ella se ven recogidos en gran medida los planteamientos de Stam y Kuula (1991), Shang y Sueyoshi (1995) y Chang *et al.*, (2000), por lo que se trabajó sobre la base de criterios, grupos y componentes propuestos por Manyoma (2006). Los criterios técnicos y de externalidades y su respectiva desagregación en grupos y componentes se presentan en la Tabla 2, pág 231.

Con base en el listado presentado se desarrolló la selección de los componentes claves que permitirían evaluar las decisiones estratégicas de capacidad en la organización caso de estudio. La forma mediante la cual fueron seleccionados los componentes fue por medio de una entrevista con el experto, en la cual se realizó un ranking de componentes, de acuerdo con una valoración de preferencias, ranking que permitió organizar los componentes de manera descendente frente a la influencia en el tipo de decisión. Estos criterios seleccionados se muestran en la Tabla 3, pág 231.

### 3.2. Medición de criterios

Para la medición de los componentes estratégicos y técnicos, se definieron indicadores específicos que permitieran cualificar o cuantificar el resultado de cada decisión estratégica de capacidad que se quiera evaluar. La descripción de los indicadores y su respectiva unidad de medida se presentan en la Tabla 4, pág 231, para los componentes estratégico y en la Tabla 5, pág 232, para los componentes técnicos.

Tabla 2.  
Criterios y subgrupos

Criterio	Grupo	Componentes
Técnico	Factor humano	Perfiles requeridos
		Conocimiento necesario sistema a emplear
	Capacidad	Capacidad teórica instalada
		Capacidad real utilizada
		Rigidez o flexibilidad
	Flexibilidades	Volumen
		Producto
		Máquina-equipos
		Herramientas
		Manejo de materiales
		Laboral
		Programación de operaciones-procesos
		Ruta (re-ruteo)
		Expansión
		Materiales
Externalidades	Cambios externos al sistema	Tiempos de entrega
		Alcance con el proveedor
		Cambios de producto
		Cambios de mercado
		Cambios tecnológicos

Fuente: Adaptado de Manyoma (2006)

Tabla 3.  
Componentes seleccionados para la evaluación

Estratégicos	Técnicos
Cambios de mercado	Capacidad instalada
Cambios tecnológicos	Capacidad utilizada
	Flexibilidad en volumen
	Flexibilidad máquina-equipos

Fuente: Los autores con base en entrevista al experto del sector.

Tabla 4.  
Indicadores para los componentes estratégicos de evaluación

Descripción	Unidad de medida
Cambios de mercado Depende de las acciones que toma la compañía con respecto a los cambios de la demanda, si reacciona de manera reactiva se califica con 1, si se adelanta a la demanda se califica con 5.	[Cualitativa] 1= Estrategia de esperar a ver 2= Incrementos cortos debajo de la demanda 3= Opciones a mediano plazo 4= Incrementos cortos sobre la demanda 5= Estrategia expansionista
Cambios tecnológicos Depende de si la tecnología utilizada por la compañía es la más avanzada con respecto al sector se califica con 5, si es la tecnología más obsoleta del sector se califica con 1, 3 si es la comúnmente utilizada en el sector.	[Cualitativa] 1= Tecnología obsoleta 2= Tecnología en vía de obsolescencia 3= Tecnología común 4= Tecnología común modificada 5= Tecnología avanzada

Fuente: Entrevista al experto del sector.

Tabla 5.

Indicadores para los componentes técnicos de evaluación

Descripción	Unidad de medida
Capacidad instalada Volumen de producción máximo que la empresa puede disponer para la fabricación del papel en resmas.	[Cuantitativo] Capacidad de producción total para papel en resmas. (Toneladas/año)
Capacidad utilizada Horas máquina de producción para fabricar papel en resmas en un día en relación de las horas productivas diarias.	[Cuantitativo] Horas máquina productivas para fabricar papel en resmas. (hora/tonelada)
Flexibilidad en volumen: Relación en la curva de costo entre el costo unitario por el volumen de producción papel en resmas.	[Cuantitativo] Costo unitario de producción de papel en resmas. (\$/tonelada)
Flexibilidad en máquina-equipos Tiempos necesarios para realizar configuración en máquina de una referencia de producto a otra.	[Cuantitativo] Tiempos Improductivos o de Setup; tiempo necesario para realizar los cambios de alistamiento. (horas/semana)

Fuente: Los autores con base en entrevista al experto del sector.

Con base en los componentes definidos, se obtiene la medición de cada uno de ellos. Para el caso estudio del proyecto a evaluar, siendo la información que se presenta en la Tabla 6 los resultados de dicha evaluación. Es importante hacer referencia a que la información corresponde a la evaluación de la Fase I del proyecto caso estudio.

#### 4. Evaluación económica

##### 4.1. Valoración sin flexibilidad

Con base en la información referente a las características del proyecto de ampliación de capacidad, se construyó su flujo de caja. En este sentido se plantearon como parámetros de entrada del flujo de caja, factores como: la proyección marginal de demanda por encima de la capacidad actual, los costos marginales de operación, el costo unitario del producto en el mercado, los gastos marginales de administración, la inversión inicial, la depreciación de los

nuevos activos y la tasa impositiva actual de la organización. Como factor macroeconómico se tomó como referente las proyecciones de inflación de Colombia.

Después de tener los parámetros y variables de entrada para el flujo de caja, se valoró el proyecto sin opción real bajo el enfoque del flujo de caja descontado. Para esto se utilizó el Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC por sus siglas en inglés) como tasa de descuento, calculándolo con la expresión que se presenta en la Ecuación 1:

$$WACC = \frac{D}{D + E} Kd (1 - T) + \frac{E}{D + E} Ke \quad |$$

En donde Kd es el costo de la deuda, que para este proyecto fue del 7,34% efectivo anual, tomado de la base de datos del Banco de la República de Colombia, como tasa de colocación por modalidad de crédito de las diferentes entidades financieras en cuanto a crédito comercial cor-

Tabla 6.

Valoración de los indicadores técnicos y estratégicos en el caso estudio

Criterio	Componente	Medición
Estratégico	Cambios de mercado	3
	Cambios tecnológicos	4
Técnico	Capacidad instalada	110.000 (unidades)
	Capacidad utilizada	0,0288 (horas/unidad)
	Flexibilidad en volumen	\$1.650.000 (unidad)
	Flexibilidad máquina-equipos	6 (Hr/semana)

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

porativo en un lapso entre 3 y 5 años. Y la razón (D/D+E) se obtuvo de la página web de Damodaran - WACC para países emergentes.

$K_e$  es el costo de patrimonio calculado a partir de la Ecuación 2:

$$K_e = rf + \beta * (rm - rf) \quad 2$$

En donde,

**rf:** es la tasa del activo libre de riesgo, la cual se considera en un 6,27% de acuerdo con un título TES emitido a 10 años con vencimiento a mayo de 2024, tiempo de evaluación de esta investigación. Dato tomado de la página web del Banco de la República.

**Rf-Rm (Country Risk Premiun):** tomada del sitio web de Damodaran para países emergentes.

$\beta$ : es igual a 0,95 para la empresa objeto de estudio.

De esta manera se obtiene un WACC = 6,6% EA para el modelo determinístico. Este valor se asume constante para todos los años. En la Tabla 7 se muestra el VPN del proyecto y otros valores relevantes.

Tabla 7.  
Resultados de valoración del proyecto mediante flujo de caja libre

Inversión Inicial(2014)	\$ 15.384.560.000
Valor terminal o residual (año 5)	\$ 33.643.174.544
Valor Presente Neto (VPN)	\$ 12.009.911.838

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

## 4.2. Valoración con flexibilidad

El tipo de opción de ampliar la escala productiva aplica en el caso de estudio, dado que existe la posibilidad de ampliar la capacidad de la etapa final del proceso, esto por medio del proyecto en dos etapas, reduciendo así el potencial de crecimiento de la empresa a cambio de protegerla del riesgo de caída, lo que permite en cada etapa juzgar la demanda y decidir si se pasa a la siguiente o se abandona. Esto debido a que la empresa ha pronosticado un crecimiento del 3% anual en la demanda de su principal producto hasta el 2024.

Para la evaluación de la opción real de ampliación, se deben tener en cuenta los parámetros propios de la teoría de opciones reales, por lo que en la Tabla 8, pág 234, se presenta cada uno de los parámetros de la opción y su respectiva descripción.

Uno de los elementos fundamentales al momento de realizar la valoración de una opción real es el cálculo de la volatilidad de los flujos del proyecto, donde

...la volatilidad futura implícita del proyecto es una variable crítica para modelos con procesos estocásticos en opciones reales y será el indicador de rentabilidad. En el caso de un proyecto que no es un activo que se negocia en el mercado, la mejor forma de calcular su volatilidad es partiendo del mismo proyecto sin flexibilidad, y utilizar su VPN como una estimación del precio que tendría si se tratara de un valor negociado en el mercado abierto, asumiendo que el Valor Presente sigue una distribución log-normal con volatilidad constante. (Buitrón y Palacios, 2013).

Para calcular la volatilidad del proyecto se siguen los siguientes pasos:

1. Construcción de la hoja de cálculo para la obtención del Valor Presente del proyecto en el momento 0 (VP0). Se descuentan los valores con el WACC calculado.
2. Se calcula el rendimiento del proyecto con la Ecuación 3.

$$Z = \ln \frac{VP1 + FC1}{PV0} \quad 3$$

3. Se utiliza la Simulación Montecarlo para generar la distribución de los valores presentes (VP) en el momento 1, añadiendo el flujo de caja esperado en este período y dejando constante el valor presente del momento 0. Por lo que la volatilidad que se usa en el proyecto, viene dada por la desviación estándar de la distribución generada de los rendimientos simulados (Buitrón y Palacios, 2013).

Para desarrollar la simulación Montecarlo se tuvieron en cuenta los parámetros presentados en la Tabla 9, pág. 234.

En la Tabla 10, pág. 235, se presentan los resultados de la simulación, teniendo como referente la variable de salida VPN. En el reporte de la simulación se observa que el VPN muestra una media de \$17.074.650.979, un valor mínimo de -\$25.755.631.554 y máximo de \$62.208.510.381. Con una curtosis de 2,64 clasifica la distribución de la variable Valor Presente Neto como platicúrtica, es decir, que los valores están concentrados alrededor de la media. Y una asimetría positiva lo que quiere decir que tiende a tomar valores superiores a la media.

Tabla 8.

Parámetros para el cálculo del valor de la opción real

Parámetro	Descripción
Tipo de opción:	Europea. Puesto que es necesario observar el desarrollo de la primera fase y esperar un determinado tiempo establecido para así poder decidir si se realiza la inversión adicional (fase II) o no.
Valor del activo subyacente (S):	Corresponde al valor actual, en este caso año 2014, de los flujos de caja que genera la opción de ampliación (ingresos de la Fase II), traídos con la tasa de descuento WACC de la empresa caso estudio.
Precio de ejercicio (X):	Este valor equivale al desembolso requerido para llevar a cabo la opción de ampliación, es decir, el valor total de la inversión del proyecto adicional (Fase II)
Tiempo de vencimiento de la opción (t):	Periodo de tiempo del que se dispone para ejercer la opción de crecimiento, en otras palabras es el tiempo de expiración de la opción. En consulta con el experto de la empresa, se ha tomado un periodo de expiración de cinco años, por tanto para esta investigación se tomará este periodo.
Tasa de Interés Libre de Riesgo (rf):	De forma general los títulos que ofrecen los gobiernos se consideran de riesgo cero. Para el caso de Colombia, se tiene que la inversión libre de riesgo por excelencia corresponde a los títulos de deuda pública emitidos por la Tesorería General de la Nación, denominados TES. Se tomó un TES emitido el 14 de mayo del 2014 puesto que la inversión inicial (Fase I) se realizaría a principios de ese año cuyo tiempo de vencimiento es de 10 años, periodo de tiempo en el que se realizara la proyección, con una tasa efectiva de corte de 6,27%.
El riesgo o volatilidad ( $\sigma$ ):	Representa el riesgo asociado al proyecto (varianza en los retornos del activo subyacente) se traduce mediante la volatilidad calculada a partir de los flujos de caja del proyecto de inversión. Esta puede obtenerse mediante la varianza de negocios similares públicamente negociados (Mascareñas et. al, 2004), o también se puede obtener mediante una simulación Montecarlo, en la cual se toman los valores presentes de los ingresos en el flujo de caja como datos de entrada y se calcula la desviación estándar ( $\sigma$ ) y la volatilidad ( $\sigma^2$ ) de los rendimientos (Puentes, 2003).
Dividendos (D):	El dinero al que se renuncia mientras el propietario no ejerza la opción de ampliación una vez esta es viable, está representado por los flujos de caja que genera la opción de ampliación (ingresos de la Fase II), traídos con la tasa de descuento WACC, si la opción adicional no se ejerce.

Fuente: Los autores con base en las características del proyecto.

Tabla 9.

Variables de entrada usadas para la simulación Montecarlo.

Variable	Distribución	Descripción
Demanda de resmas de papel (2014)	Triangular	Se asignó una distribución triangular con un valor más probable de 110.301 dato suministrado por la empresa y una variación entre 2 y -2% con base a la experiencia del experto en el sector, se asume triangular por estar basado en un juicio de experto.
Variación anual demanda resmas de papel	Lognorm	Con los datos históricos suministrados por la empresa se ajustaron dando como resultado la distribución lognorm.
Costos operacionales	Triangular	Se tomó como base el costo unitario y el precio unitario para el año 2014. Corresponde al 78,57% con una variación entre -4 y 4%, rango asumido de acuerdo al estudio realizado y a la aprobación del experto como un rango tolerable de acuerdo a su experiencia en el sector. Dado que está basado en juicio de experto se asume triangular.
Capital de trabajo	Beta General	Los datos históricos suministrados por la empresa de los últimos cinco años se ajustaron dando como resultado la distribución Beta General.
TRM (2019)	Beta General	Los datos históricos de la TRM anual promedio tomados de la página oficial del Banco de la República se ajustaron dando como resultado la distribución Beta General.

Fuente: Los autores con base en las características del proyecto.

Tabla 10.  
Resultados de la simulación para la variable de salida VPN.

Descripción	Valor Presente Neto (2014)
Mínimo	-\$ 25.755.631.554
Máximo	\$ 62.208.510.381
Media	\$ 17.074.650.979
Desviación estándar	\$ 14.113.305.802
Asimetría	0,095110193
Curtosis	2,637446013
Mediana	\$ 16.771.136.724
Moda	\$ 16.619.065.822
Errores	0

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

Frente a la variable de salida "Z", que es la variable de interés para valorar la volatilidad de los flujos, el reporte de la simulación presentado en la Tabla 11 muestra una media de 0,13, un valor mínimo de -9,74 y máximo de 1,10. Un factor importante es que obedece a una distribución leptocúrtica, es decir, una distribución de colas pesadas donde hay mayor probabilidad de encontrar valores extremos.

Tabla 11.  
Resultados de la simulación para la variable de salida Z

Descripción	Z / %
Mínimo	-9,739349268
Máximo	1,102644952
Media	0,126552586
Desviación estándar	0,557630875
Asimetría	-2,218261949
Curtosis	18,47690493
Mediana	0,235510265
Moda	0,414858049
Errores	39

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

En particular la desviación estándar de la variable de salida Z, de acuerdo con la Tabla 12, corresponde a 55,76%, siendo este valor el que representa la volatilidad implícita del proyecto.

Para la correspondiente valoración de la opción real se optó por el método de árboles binomiales, muestran los posibles valores que puede tomar el proyecto por medio de árboles de decisión que involucra diversos escenarios en diferentes instantes (Mascareñas *et al.*, 2004). El modelo

parte del Valor Actual en el año cero, el cual aumenta o decrece de acuerdo con su coeficiente al Alza (U) o a la Baja (D); de estos coeficientes se calculan con Ecuaciones 4 y 5 (Mascareñas, 2004):

$$U = e^{\sigma} \quad 4$$

$$D = 1/U \quad 5$$

Las probabilidades neutrales al riesgo de que exista un alza o una baja en el valor, son representadas por las letras p y q, calculándolas de acuerdo con las Ecuaciones 6 y 7, respectivamente.

$$p = \frac{(1 + rf) - D}{U - D} \quad 6$$

$$q = 1 - p \quad 7$$

Con los datos obtenidos de la Simulación Montecarlo se procede a calcular el VPN contemplando el valor de la opción real, para esto se consolida la información arrojada por la Simulación y se calculan los factores U, D, rf y p necesarios para la realización del árbol binomial.

Tabla 12.  
Parámetros usados para la construcción del árbol binomial.

Inversión Inicial	\$ 15.384.560.000
Inversión Ampliación	\$ 18.246.570.000
Valor actual (VA0)	\$ 33.413.990.000
Volatilidad( $\sigma$ )	55,76%
Valor del negocio adicional	20,3%
U	1,746529891
D	0,57256392
Rf	6,47%
P	42%

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

El árbol binomial construido se presenta en la Figura 1, pág. 236. Este árbol de decisión se realiza a cinco años, tiempo en el cual se evaluará la decisión de ampliación, estimando los valores que toma el valor presente en cada año, con respecto a los valores al alza o a la baja.

La opción de ampliar es similar a adquirir una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto inicial con un precio de ejercicio igual a la inversión de ampliación que equivale a \$18.246.570.000. Por lo tanto, la oportunidad de inversión con la opción de ampliar incorporada puede ser vista como un proyecto de inversión inicial más una opción de compra sobre una inversión futura. La Ecuación 8 permite estimar el valor del proyecto ampliado en el año 5 de

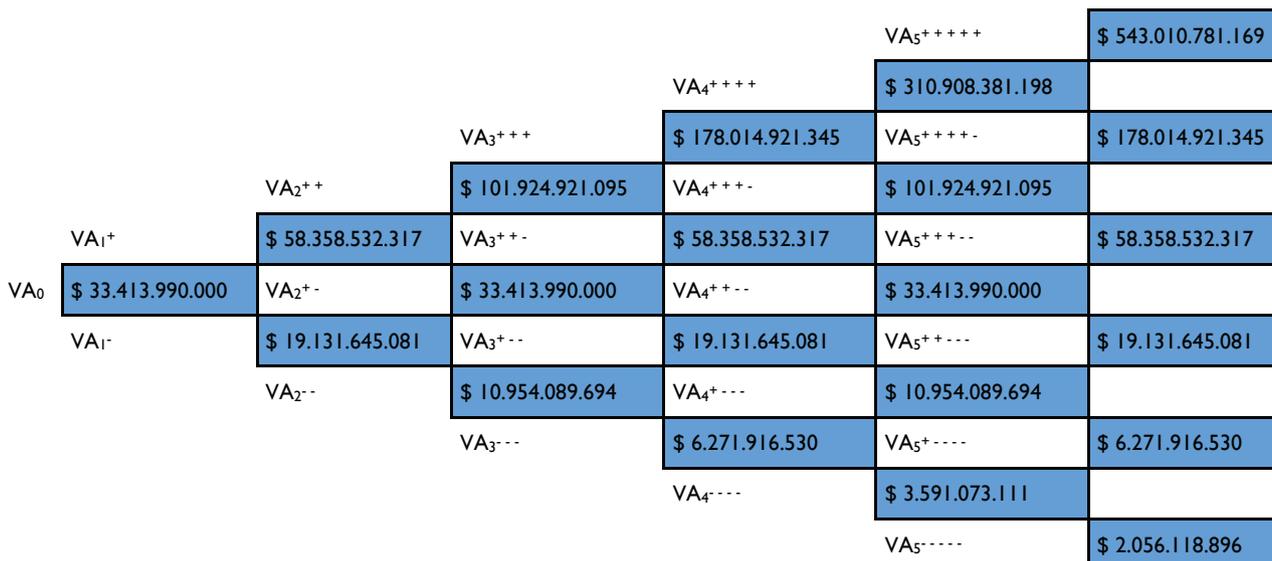


Figura 1. Árbol binomial del proyecto  
Fuente: Los autores.

las diferentes ramas del árbol, que se muestran en la Figura 2, pág. 237.

$$E5 = VA5 + Máx [(1+X) VA5 - InversiónAmpliación; 0] \quad 8$$

Posteriormente se halla el valor del proyecto en el momento de tiempo 0 (Eo), para lo cual se hace uso de la expresión presentada en la Ecuación 9. Los resultados de dicho proceso se observan en la Figura 2.

$$Eo = [(E1 + xp) + (E1 - xq)] / (rf + 1) \quad 9$$

Una vez obtenido el valor del proyecto ampliado Eo, se halla el valor de la opción a partir de la Ecuación 10. La Tabla 13 muestra los resultados obtenidos.

$$Opción\ de\ Ampliar = VPN\ Ampliado - VPN\ Simulado \quad 10$$

Tabla 13.  
Resultados de la valoración de la opción de ampliación

VPN Simulado (sin opción)	\$ 18.029.430.000
VPN Ampliado (con opción)	\$ 47.503.704.371
Opción de Ampliar	\$ 29.474.274.371

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

Al realizar la evaluación del factor económico mediante el método del árbol binomial, se observa que en dos de los seis escenarios no es viable la opción de ampliar; sin embargo, la opción es más favorable debido a que el valor

contemplando la opción es mayor al valor actual, sin tener en cuenta la opción de ampliar.

Con los resultados obtenidos del árbol binomial se procederá a analizar estos junto a los demás criterios en el scoring, en donde se utilizará la ponderación otorgada por el experto del sector.

### 5. Normalización de los criterios

Es necesario dar una valoración ponderada a los diferentes criterios técnicos, estratégicos y financieros definidos; esta ponderación se realizó con base en la información suministrada por el experto consultado en el sector productivo como referente las prioridades de la organización. (Ver Tabla 14, pág 237).

La definición de los pesos porcentuales definidos permite realizar un scoring que consolide la evaluación obtenida en cada uno de los criterios. El scoring es una manera rápida y sencilla para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio, ya que con otra herramienta se extiende el tiempo de la investigación debido a su complejidad; la alternativa con el score más alto representa la alternativa a recomendar. (Roche y Vejo, 2005).

Un paso previo a la realización del scoring, corresponde a la normalización de los resultados de los criterios, ya que en este contexto las unidades de los indicadores con los que están medidos los diferentes criterios plantean diferentes unidades de medida no comparables entre ellas. Además,

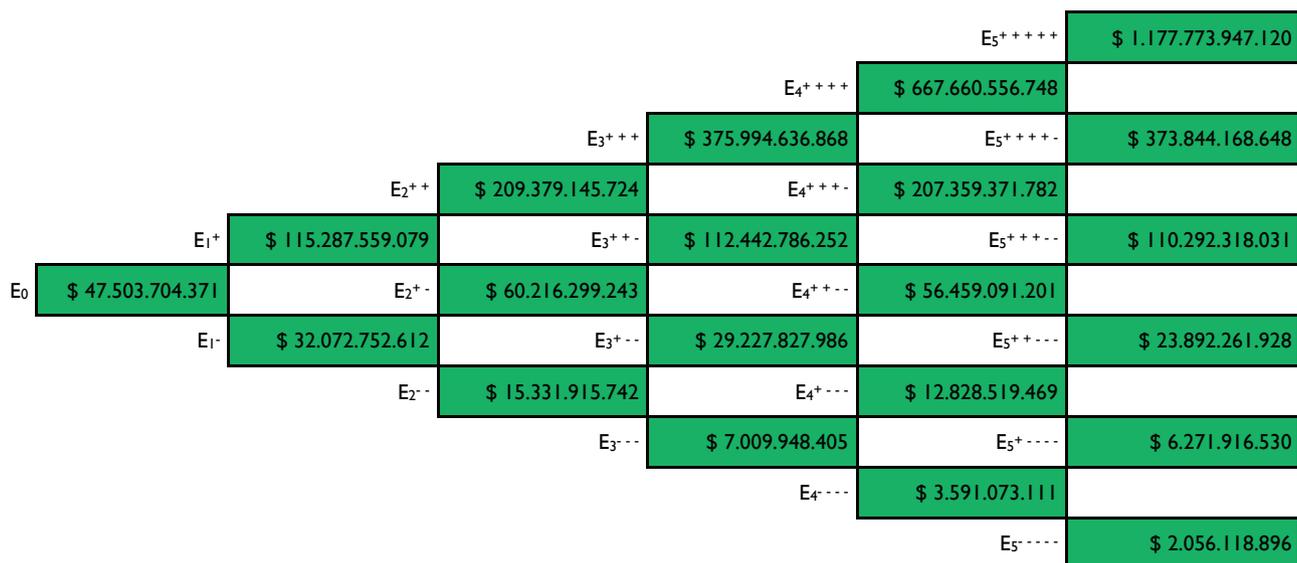


Figura 2. Árbol del valor del proyecto ampliado

Fuente: Los autores.

Tabla 14.

Ponderación de los criterios

Criterios	Participación	Ponderación	Descripción
Estratégicos	30 %	-	Es el criterio que define qué debo hacer con el producto y qué está pasando en el mercado para tomar decisiones.
Cambios de mercado	70 %	21 %	Es el que define, desde el punto de vista de la demanda, la decisión de poder producir.
Cambios tecnológicos	30 %	9 %	Las empresas deben estar permanentes en proceso de innovación y cambio.
Técnicos	25 %	-	Es necesario para maximizar la productividad.
Capacidad instalada	15 %	3,75 %	Está asignada al diseño de planta que permite poder crecer y desarrollar mejoras se pueden realizar (análisis cuello de botella o teoría de restricciones).
Capacidad utilizada	40 %	10 %	Es en el que hay que optimizar todos los recursos para ser eficiente en todos los procesos.
Flexibilidad en volumen	30 %	7,5 %	Es importante al analizar la producción desde el punto de vista de la planeación.
Flexibilidad en máquina-equipo	15 %	3,75 %	No se están realizando cambios permanentes en la organización, pero se deben tener en cuenta los SMED por la variedad de productos.
Económicos	45 %	-	Las compañías trabajan para obtener beneficios económicos.
Beneficios	100 %	45 %	Las compañías buscan un margen de rentabilidad.

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

se tiene en cuenta que en muchas decisiones multicriterio estos valores sin una normalización previa pueden conducir a soluciones sesgadas (Romero, 1996). La normalización se realiza mediante la ecuación 11.

$$\text{Criterio } n = \frac{\text{Criterio } n}{(\text{Máximo} - \text{Mínimo})} \quad 11$$

La Tabla 15 muestra la evaluación final, donde se logra la integración de todos los criterios -técnicos, estratégicos y económicos- y arroja la calificación del proyecto con opción y sin opción. El mayor valor representa la mejor alternativa y abarca todos los criterios que se deben tener en cuenta para la correcta valoración de una decisión de inversión de administración de la capacidad en el sector papel.

Este scoring permite observar que en los criterios estratégicos prevalece con mayor peso el valor con la opción, ya que tanto la variación de la demanda como el estándar de producción aumentan con la opción. En los criterios técnicos; de igual forma se muestran con mayor valor tomando la opción en el caso de la capacidad instalada, flexibilidad en volumen y en equipo. Sin embargo, en capacidad utilizada se refleja que prevalece el valor sin opción, esto debido a que en algunos años esta capacidad extra que se da en la opción de ampliación puede no ser utilizada en los primeros años de inversión. Finalmente, para el criterio económico el VPN

del proyecto con opción superó al VPN sin opción, esto de acuerdo con la valoración realizada mediante el método del árbol binomial.

Este proceso de evaluación debe realizarse con otras decisiones estratégicas de administración de capacidad, obteniendo así la valoración la calificación de cada proyecto en función de los indicadores definidos, y teniendo una única de medida de calificación que permitirá a la organización realizar el proceso de selección de sus iniciativas estratégicas con base en un proceso de evaluación riguroso y sistemáticamente establecido.

### 6. Conclusiones

En el contexto de las decisiones de administración de capacidad, se encontraron numerosas referencias en las cuales se mencionan diferentes tipos de capacidad, unas más estratégicas y otras más operativas, de las cuales se tomaron partidas para encontrar la mejor combinación y utilizarlas en el modelo planteado.

En la búsqueda de criterios a considerar para valorar la decisión de administración de capacidad, se encontraron numerosas fuentes, las cuales sirvieron como pilares para reunir la mayor cantidad de criterios posibles inmersos en estas decisiones, y así soportar los más representativos mediante el juicio de un experto.

Tabla 15. Resumen de la evaluación

Criterio	Normalizados		Ponderación	Valorizados		
	Valor con opción	Valor sin opción		Valor sin opción	Valor con opción	
Estratégicos	Cambios de mercado	1,5	2,5	21,00%	0,3150	0,5250
	Cambios tecnológicos	4	5	9,00%	0,3600	0,4500
Técnicos	Capacidad instalada	5,2381	6,2381	3,75%	0,1964	0,2339
	Capacidad utilizada	5,0000	4,0000	10,00%	0,5000	0,4000
	Flexibilidad en volumen	6,2785	7,2785	7,50%	0,4709	0,5459
	Flexibilidad en máquina - equipo	2,0000	3,0000	3,75%	0,0750	0,1125
Económico	Rentabilidad	0,6117	1,6117	45,00%	0,2753	0,7253
Valor					2,19	2,99

Fuente: Los autores - Información de los resultados.

El análisis de opciones reales permite una gestión activa entre las inversiones y el comportamiento de las condiciones del mercado; si son favorables se procederá a invertir, de lo contrario no, lo cual permite limitar las pérdidas y potenciar las ganancias.

La simulación permite acercarse a la realidad futura de las condiciones del proyecto, por lo cual dicha simulación es parte fundamental del proyecto, ya que le provee dinamismo. De los datos obtenidos en la simulación, la volatilidad implícita juega un papel importante en la valorización de la opción, ya que este valor es muy volátil, y con un pequeño cambio en este, el resultado de la valorización cambia sustancialmente.

Para integrar los indicadores con los que fueron medidos los diferentes criterios, el método de normalización facilita la evaluación de proyectos, ya que, al comparar dichos valores lo hacen de manera adimensional sin tener en cuenta la unidad de medida de cada criterio, convirtiéndolos en una misma escala. Dicha normalización es de gran importancia para el análisis de los criterios.

La integración de los criterios por medio del scoring permite una mejor evaluación de las decisiones estratégicas de administración de la capacidad en el sector papel, ya que agrupa todos los criterios a considerar –financiero, estratégico y técnico- para evaluar este tipo de decisiones. 

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias bibliográficas

- BENGTSSON, Jens. Manufacturing flexibility and real option: A review. *In: International Journal of Production Economics*. Diciembre, 2001. vol. 74, Issue 1-3 p. 213-224
- BRACH, Marion. *Real options in practice*: New Jersey: John Wiley & sons, inc. 2003. 370 p. ISBN 0-471-26308-7
- BOYER, Kenneth. y LEWIS, Mariane. Competitive priorities: Investigating the need for trade-offs in operations strategy. *In: Production and Operations Management*. Marzo, 2002. vol 11. Issue 1, p. 9-20
- BUITRÓN, Laura y PALACIOS, Juan Felipe. Modelo de evaluación financiera para proyectos de inversión en generación de energía eólica bajo condiciones de incertidumbre. Trabajo de grado Ingeniería Industrial. Cali: Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Industrial. 2012.
- CHANG, Felix., JIANG Bing Y TANG, Nelson. The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems. *In: International Journal of Production Economics*. Abril, 2000. vol. 65, Issue 1, p. 73-84
- CORBETT, Lawrence. Manufacturing strategy, the business environment, and operations performance in small low-tech firms. *In: International Journal of Production Research*. Septiembre, 2008. vol. 46, Issue 20, p. 5491-5513
- DÍAZ, Eloisa. La estrategia de producción como estrategia funcional: Una propuesta de configuraciones genéricas en la industria española. Tesis doctoral. España. Universidad Rey Juan Carlos. 2003. 255 p
- HAYES, Robert; WHEELWRIGHT, Steven. *Restoring our competitive edge: competing through manufacturing*. 1. ed. Estados Unidos :Wiley, 1984. 440 p. ISBN 0471051594, 978-0471051596
- KRAJEWSKI, Lee., Ritzman, Larry. *Administración de las operaciones: estrategia y análisis*. Traducido por Marisa de Anta. 5. ed. México: Pearson Educación, 2000. 928 p. ISBN 968-444-411-7
- MANYOMA, Pablo César. Desarrollo de una metodología de valoración multiatributo para el análisis de decisiones de flexibilidad en sistemas de producción. Trabajo de grado de Maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Industrial. Cali. Universidad del Valle. 2006.
- MANYOMA, Pablo César. Medición de la flexibilidad en manufactura. *En: Revista EIA*. Diciembre 2011. v. 16. p. 61-76
- MASCAREÑAS, Juan., LAMOTHE, Prosper., LOPEZ, Francisco y LUNA, Walter. *Opciones reales y valoración de activos*. Madrid: Prentice Hall. 2004.
- MATTA, Andrea y SEMERARO, Quirico. *Design of Advanced Manufacturing Systems*. Dordrecht, Berlin, Heidelberg, New York: Springer. 2005. 267
- PUENTES, Paula. Aplicación del análisis de las opciones reales a la evaluación económica de un proyecto de inversión colombiano. Caso Transmilenio. Colombia. Trabajo de grado en Ingeniería Industrial. Cali. Universidad del Valle.
- Roche, H., & Viejo, C. (2005). *Métodos Cuantitativos Aplicados a la Administración: Material de apoyo Análisis Multicriterio en la Toma de Decisiones*. Obtenido el Diciembre 1, 2009 de Facultad de Ciencias Económicas y de Administración de Montevideo, Uruguay.
- ROMERO, Carlos. *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Idefe, 1996. 115 p. ISBN. 8489338140, 9788489338142
- SHANG, Jen y SUEYOSHI, Toshiyuki. A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System. *In: European Journal of Operational Research*. Septiembre, 1995. vol. 85, Issue 2, p. 297-315
- STAM, Antonie y KUULA, Markku. Selecting a flexible manufacturing system using multiple criteria analysis. *In: International Journal of Production Research*. Enero, 1991. vol. 29, Issue 4, p. 803-820
- YEO, K.T. y FASHENG, Qiu. The value of management flexibility-a real option approach to investment evaluation. *In: International Journal of Project Management*. Mayo, 2003. vol 21, Issue 4, p. 243-250