

**MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS ESTRATÉGICOS DE
ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD APLICADO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR
PAPEL DEL VALLE DEL CAUCA**

PAOLA YINETH ACOSTA ORTIZ

CÓD.: 200835401

ANDRÉS FERNANDO SÁNCHEZ MUÑOZ

CÓD.: 201010228



UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI

2014

**MODELO PARA LA EVALUACIÓN DE PROYECTOS ESTRATÉGICOS DE
ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD APLICADO EN UNA EMPRESA DEL SECTOR
PAPEL DEL VALLE DEL CAUCA**

PAOLA YINETH ACOSTA ORTIZ

CÓD.: 200835401

ANDRÉS FERNANDO SÁNCHEZ MUÑOZ

CÓD.: 201010228

Proyecto de Grado Presentado para Optar por el Título de Ingeniero Industrial

DIRECTOR

CAMILO ANDRÉS MICÁN RINCÓN

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTIAGO DE CALI

2014

Nota de Aceptación

Director. Camilo Andrés Micán Rincón

Jurado 1

Jurado 2

Noviembre de 2014

AGRADECIMIENTOS

En esta etapa tan importante de nuestras vidas, queremos agradecer en primera instancia a Dios por ser nuestro motor en este proceso y permitirnos culminar con éxito las metas alcanzadas con la realización de este trabajo. A nuestros familiares y seres queridos que con su apoyo y comprensión nos brindaron incondicionalmente la motivación necesaria para recargarnos de energía y continuar escalando los peldaños de la escalera al éxito.

Al experto del sector que nos acompañó en todo este proceso por su colaboración, tiempo, conocimiento y ayudada brindada que fueron fundamentales para la realización de este proyecto de grado.

A nuestro director Camilo Andrés Micán Rincón por brindarnos su constante apoyo, dedicación y compartir su sabiduría para guiar este proyecto por el camino correcto en situaciones pertinentes. Agradecemos su disposición, amabilidad, consejos y grandes enseñanzas que no solo nos sirvieron para la realización de este proyecto, sino para nuestra vida futura como Ingenieros Industriales.

A los profesores de la escuela de Ingeniería Industrial y demás escuelas de la Universidad del Valle, que con sus conocimientos lograron incorporar en nosotros esas herramientas necesarias para desarrollarnos como buenas personas y grandes profesionales.

Finalmente, agradecemos a las diferentes personas que compartieron con nosotros a lo largo de nuestra vida universitaria y que realizaron de ella una estadía amena llena de conocimientos y alegrías en actividades extracurriculares.

Paola Yineth Acosta Ortiz

Andrés Fernando Sánchez Muñoz

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	1
1. CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN	3
1.2 OBJETIVOS.....	7
Objetivo general	7
Objetivos específicos	7
1.3 DISEÑO METODOLÓGICO	8
1.4 MARCO DE REFERENCIA	11
2. CAPITULO II. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS EN LOS TIPOS DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD	20
2.1 DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DECISIONES ESTRATÉGICAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD	20
2.1.1 Sistemas de Fabricación Dedicados	21
2.1.2 Sistemas de Fabricación Flexible	22
2.1.3 Determinación del momento y cantidad de expansión	24
2.1.4 Etapas estratégicas de capacidad	26
2.1.5 Caracterización del sector productivo	28
2.1.6 Caracterización del proceso productivo del papel	29
2.1.7 Decisiones de Administración de Capacidad por Etapa de Proceso	30
2.2 CRITERIOS OPERATIVOS A TENER EN CUENTA AL EVALUAR LOS TIPOS DE DECISIONES.....	33
2.2.1 Selección de los criterios de decisión de capacidad	33
2.2.2 Indicadores y forma de medir los criterios	39
3. CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LAS OPCIONES REALES IMPLÍCITAS EN LAS DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD EN UNA EMPRESA DEL SECTOR PAPEL	42
3.1 OPCIONES REALES.....	42
3.2 TIPOS DE OPCIONES REALES	44
3.3 TIPO DE OPCIONES REALES IMPLÍCITAS EN LOS TIPOS DE DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD EN LAS ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL SECTOR PAPEL	45

3.4	SELECCIÓN DE UN TIPO DE DECISIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD Y OPCIÓN REAL	48
3.4.1	Determinación de los componentes de la opción	49
3.4.2	Árboles binomiales	51
4.	CAPITULO IV. INTEGRACIÓN DE LOS CRITERIOS Y EL ANÁLISIS DE OPCIONES REALES MEDIANTE CASO ESTUDIO	52
4.1	CASO ESTUDIO	52
4.1.1	Supuestos de proyección	52
4.1.2	Definición de variables entradas del modelo	54
4.2	VALORACIÓN DEL MODELO SIN CONTEMPLAR LA OPCIÓN REAL	56
4.3	VALORIZACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE OPCIONES REALES	58
4.3.1	Volatilidad Implícita	58
4.3.2	Simulación Montecarlo del Modelo	59
4.3.3	Cálculo del VPN básico contemplando el valor de la opción real (Árbol Binomial)	64
4.4	INTEGRACIÓN DE LOS CRITERIOS Y EL ANÁLISIS DE OPCIONES REALES	68
4.4.1	Definición de los valores de los indicadores	68
4.4.2	Normalización de los criterios	68
4.4.3	Scoring	69
4.5	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	73
5.	CONCLUSIONES	75
	BIBLIOGRAFÍA	84

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Determinación de criterios en los tipos decisiones de administración de la capacidad.....	8
Tabla 2. Caracterización de las opciones reales implícitas en las decisiones de administración de la capacidad en una empresa del sector papel.....	9
Tabla 3. Integración de los criterios y opciones reales implícitas de administración de capacidad mediante caso estudio.....	10
Tabla 4: Categorías de las decisiones estratégicas de producción.....	13
Tabla 5. Etapas estratégicas de Capacidad.....	27
Tabla 6. Decisiones de administración de capacidad por etapas del proceso.....	31
Tabla 7. Criterios y Componentes Stam y Kuula.....	33
Tabla 8. Criterios y Componentes Shang y Sueyoshi.....	34
Tabla 9. Criterios y Componentes Chang, Jiang y Tang.....	35
Tabla 10. Criterios y Componentes Pablo Manyoma.....	38
Tabla 11. Selección de Criterios a tener en cuenta en decisiones de Capacidad.....	39
Tabla 12. Indicadores para Criterios Estratégicos.....	39
Tabla 13. Indicadores para Criterios Técnicos.....	40
Tabla 14. Indicadores para Criterios Económicos.....	40
Tabla 15. Variables de las Opciones Reales.....	43
Tabla 16. Tipos de Opciones Reales.....	44
Tabla 17. Tipos de Opciones Reales implícitas en los Tipos de decisiones de Administración de Capacidad.....	48
Tabla 18. Variables de entrada del modelo.....	55
Tabla 19. VPN del modelo determinístico.....	57
Tabla 20. Resultados Estadísticos VP.....	60
Tabla 21. Resultados Estadísticos VPN	61
Tabla 22. Resultados Estadísticos Z	62
Tabla 23. Resultados Estadísticos TIR.....	63

Tabla 24. Información para el árbol binomial.....	65
Tabla 25. Ponderación de los criterios de administración de capacidad.....	70
Tabla 26. Definición de los valores de los Indicadores.....	72
Tabla 27. Normalización y Scoring.....	73

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Estrategias de Capacidad.....	25
Figura 2. Diagrama de Bloques del proceso de Fabricación de Papel.....	29
Figura 3. Metodología de la Evaluación del Proyecto.....	58
Figura 4. Simulación Montecarlo del VP (5 años).....	60
Figura 5. Simulación Montecarlo del VPN (5 años).....	61
Figura 6. Simulación Montecarlo del Z (5 años).....	62
Figura 7. Simulación Montecarlo de la TIR (5 años).....	63
Figura 8. Árbol Binomial del Proyecto.....	65
Figura 9. Valor del Proyecto Ampliado.....	67

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Criterios de decisión de Autores consultados.....	77
Anexo B. Ranking de los criterios de decisión.....	80
Anexo C. Flujo de caja libre del modelo determinístico.....	81
Anexo D. Resultados Estadísticos @RISK.....	82
ANEXO E. Información para Z de @ Risk.....	83

INTRODUCCIÓN

Actualmente las organizaciones compiten en un ambiente en el cual prima la incertidumbre, definiendo que de la capacidad de estas para responder a los cambios dependerá su competitividad empresarial; es por ello que se hace necesario contar con diferentes herramientas que permitan tomar decisiones acertadas en este ambiente.

Debido a que las estrategias empresariales tienen un gran impacto en las ventajas competitivas de cualquier organización y a que el sistema productivo es el eje de diversas variables estratégicas que sirven como arma competitiva de toda compañía manufacturera (Manyoma, 2011), la toma de decisiones estratégicas debe involucrar el impacto sobre el sistema operativo de la empresa. Una de estas estrategias es la flexibilidad en la manufactura, esta se entiende “como un concepto complejo y multidimensional que representa la habilidad o capacidad de un sistema 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” (Manyoma, 2006: pág. 52).

Este trabajo de grado se enfocará en decisiones estructurales de la estrategia de operaciones, específicamente en las de administración de la capacidad, que al ser de largo plazo y requerir grandes inversiones de capital son difícilmente reversibles, por tanto las organizaciones deben ser cuidadosas en la asignación de recursos, ya que estos son limitados y basarse no solo en criterios económicos, sino en criterios técnicos y estratégicos exclusivos para la toma de este tipo de decisiones (Matta, Semeraro, 2005).

Es por eso que el presente trabajo propone un modelo de evaluación de proyectos de administración de la capacidad que integra criterios estratégicos, técnicos y económicos; el cual está enmarcado en una empresa del sector papel en el Valle del cauca, para evaluar proyectos estratégicos asociados a la administración de la

capacidad teniendo en cuenta que dichos criterios permitan valorar la flexibilidad. Para esto, se tiene en cuenta el enfoque de las opciones reales como alternativa de valoración, la cual vincula el análisis, diseño y gestión de las inversiones estratégicas a nivel de proyectos y la visión estratégica empresarial.

1. CAPITULO I. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

A través de la historia, las empresas han competido con diversas estrategias para obtener la mayor cantidad de clientes posibles, pero ciertos factores externos como el entorno cambiante y los mismos clientes a través de sus gustos, han puesto a las organizaciones a pensar cada vez más en estrategias diferentes que rápidamente permitan aprovechar los recursos de una manera eficiente y, a su vez permitan satisfacer dichas necesidades, adaptando el sistema de producción a los cambios del mercado (Micán, 2012; Manyoma, 2006).

Algunas estrategias que han tomado las organizaciones se basan en producir un bien o prestar un servicio de alta calidad y que sus costos sean mínimos y a su vez el tiempo en el que son llevados al cliente sea el menor posible. En la actualidad las empresas compiten por costo, calidad y tiempo, con la diferencia que se añade la flexibilidad operativa para complementar estos factores de éxito, cuyo objetivo consiste en adaptar con éxito el sistema productivo a las condiciones cambiantes del entorno, a las necesidades del proceso y de los clientes (Micán 2012).

En este sentido, las decisiones enfocadas en mejorar el nivel de flexibilidad operativa hacen parte de lo que comúnmente se denomina en la literatura como decisiones de la estrategia de operaciones, la cual a su vez se divide en dos tipos de decisiones; las decisiones estructurales, que son de largo plazo, difícilmente reversibles y requieren grandes inversiones en capital; y las infraestructurales, que son de mediano plazo, condicionadas por las decisiones estructurales y no requieren grandes inversiones de capital. Dentro de las decisiones estructurales se encuentran las decisiones de administración de la capacidad, abastecimiento e integración vertical, diseño de instalaciones y tecnología de procesos. Por otro lado en las decisiones infraestructurales, se encuentran presupuestos y asignación de recursos, recurso humano, planeación y control, calidad, retroalimentación y control, desarrollo de

productos y procesos, estructura de la organización (Matta y Semeraro, 2005; Boyer y Lewis, 2002; Corbett, 2008).

La administración de la capacidad es una de las decisiones estructurales que tiene mayor impacto en la flexibilidad 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 pág. 8). Se entiende la capacidad como la “habilidad para incrementar o reducir rápidamente los niveles de producción, o para cambiar rápidamente de capacidad de producción de un producto a otro” (Chase, 2004: pág.4). En este sentido, una cuestión para la administración de la capacidad es el cuándo expandir y en qué medida hacerlo; en donde se pueden tomar decisiones que involucran “saltos grandes e infrecuentes de la capacidad” (estrategia expansionista), o “saltos pequeños y frecuentes” (estrategia de esperar y ver) (Krajewsky et al., 2000: Pág. 308). La estrategia de capacidad está basada en una serie de supuestos y predicciones teniendo en cuenta el mercado a largo plazo y el comportamiento competitivo. De la estrategia expansionista se desencadena la decisión de expansión de capacidad, la cual se basa en cuatro políticas, las cuales son: 1. No construir capacidad adicional hasta que la necesidad lo indique, 2. Anticiparse al mercado siguiendo una estrategia contra cíclica, 3. Comprar para el largo plazo y 4. Seguir al líder. (Hayes y Wheelwright, 1984).

Por ser la estrategia de capacidad el elemento principal de la estrategia de manufactura (Hayes; Wheelwright, 1984) y sus decisiones ser difícilmente reversibles, tener mayor impacto en la flexibilidad, definir restricciones y condiciones a las decisiones infraestructurales y direccionar el desarrollo competitivo de la organización, se plantea necesario que este tipo de decisiones sean definidas y evaluadas con precisión, y más allá de esto que en el proceso de toma de decisiones se incluyan el componente de flexibilidad (Micán, 2012).

Se debe tener en cuenta para la valoración de proyectos de inversión, como lo son las decisiones estructurales de administración de la capacidad, 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 financiera 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.

Bajo 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 en función del Valor Presente Neto VPN, 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 criterios que se deben tener en cuenta. En este sentido Manyoma (2006), propone que una forma de evaluar que recoge todos los elementos descritos alrededor del análisis de flexibilidad en sistemas de producción es el uso de técnicas multiatributo en donde es necesario incluir criterios técnicos, externos y financieros; estos últimos incluyendo las opciones reales presentes en los proyectos y su valoración.

En la actualidad de nuestro país es necesario realizar una adecuada evaluación de las decisiones de inversión, debido a que el Gobierno Nacional por medio del Departamento Nacional de Planeación ha planteado diferentes propuestas para mejorar la productividad y la competitividad de algunas regiones del país, entre ellas la región del Valle del Cauca. Al ser el Valle del Cauca el principal departamento de bienes de la cadena de pulpa, papel, cartón y artes gráficas se ha identificado a esta cadena como una de las más importantes apuestas productivas de la región en el marco de la Agenda Interna para enfrentar los retos que plantean los mercados internacionales (DNP, 2007a). La Agenda interna para la productividad y la competitividad del Valle del Cauca tiene como objetivos definir proyectos estratégicos que mejoren la productividad y la competitividad de la región que juegan un papel importante en el comercio exterior Vallecaucano, es por esto que es fundamental la evaluación correcta de estos proyectos, que permitan enfrentar los nuevos retos y oportunidades, y produzcan el mayor beneficio para la región y por ende al país. Evaluación que incluya el componente de flexibilidad por medio de criterios financieros, técnicos y estratégicos, y lleve por tanto a una mejor posición competitiva de la empresa y de la industria.

En este orden de ideas, la problemática se encuentra al momento de medir en la dimensión operativa, la flexibilidad de la toma de decisiones estructurales de administración de la capacidad en una empresa del sector papel, en donde dichas medidas se encuentran enfocadas en la cantidad de ítems manejados en el sistema de manufactura bajo un nivel de requerimiento de producto ya sea absoluto o relativo.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

Desarrollar un modelo de evaluación de decisiones estratégicas de administración de capacidad en una empresa del sector papel del Valle del Cauca.

Objetivos específicos

- Establecer las decisiones de administración de la capacidad mediante la revisión de bibliografía especializada con el fin de identificar criterios a tener en cuenta al momento de evaluar este tipo de decisiones.
- Caracterizar las opciones reales implícitas en las decisiones de administración de la capacidad de una empresa del sector papel a partir de revisión de bibliografía y juicio de expertos en pro de validarlas.
- Integrar los criterios identificados y el análisis de opciones reales mediante un caso estudio en un tipo de decisión estratégica de administración de la capacidad en pro de desarrollar una propuesta de evaluación de proyectos estratégicos de administración de la capacidad.

1.3 DISEÑO METODOLÓGICO

El desarrollo de este trabajo está enmarcado en una metodología que abarcó tres fases, representadas en las tablas 1, 2 y 3 respectivamente; en donde cada fase da respuesta a uno de los objetivos específicos:

TABLA 1. Determinación de criterios en los tipos decisiones de administración de la capacidad.

Actividad	Descripción de Actividades
Definir los tipos de decisiones estratégicas de administración de la capacidad.	Mediante revisión bibliográfica se establecieron los tipos de decisión de administración de capacidad, encontrando Sistemas de Manufactura Dedicados y Flexibles; además de encontrar diversos factores importantes como es la magnitud y el momento de expandir o reducir la capacidad, siguiendo diversas etapas estratégicas en las empresas. Para terminar se realizó una caracterización tanto del sector productivo como de las etapas del proceso productivo del papel, para así cruzar estas variables y llegar a obtener los tipos de decisiones de administración de capacidad en cada etapa del proceso productivo.
Identificar los Criterios a tener en cuenta al momento de evaluar este tipo de decisiones.	Mediante revisión bibliográfica se encontraron diferentes criterios a tener en cuenta en este tipo de decisiones de administración de capacidad. Esta revisión se realizó con diferentes autores, encontrando en uno de estos, la mayoría de criterios incorporados, los cuales fueron consolidados en tres grupos, estratégicos, técnicos y económicos.
Seleccionar los criterios de flexibilidad operativa para la evaluación.	Posteriormente, mediante el juicio del experto se escogieron de la anterior actividad, los criterios que mayor impacto representan en el sector seleccionado, obteniendo siete criterios relevantes para el trabajo de grado.
Definición de indicadores y forma de medir los criterios de flexibilidad.	Observando diferentes artículos y publicaciones referentes a los criterios escogidos, se procede a establecer los indicadores correspondientes y sus respectivas unidades de medida, para así consecutivamente por juicio de expertos validar la veracidad de estos indicadores.

Fuente: Los autores.

TABLA 2. Caracterización de las opciones reales implícitas en las decisiones de administración de la capacidad en una empresa del sector papel.

Actividad	Descripción de Actividades
Tipos de opciones reales implícitas en este tipo de decisiones.	Mediante revisión bibliográfica se establecieron los diferentes tipos de opciones reales presentes en empresas del sector papel y posteriormente realizar un análisis cruzando estas opciones con las decisiones de administración de capacidad halladas en el primer objetivo específico. Con este análisis se encontraron las diferentes opciones reales que se presentan en las decisiones de administración de capacidad en empresas del sector papel.
Selección de un tipo de decisión de administración de la capacidad y opción real.	De la actividad anterior se consiguieron diversas opciones a realizar, sin embargo, mediante el juicio del experto en el sector, se seleccionó el tipo de decisión de administración de la capacidad flexible y la opción real de ampliación que actualmente la empresa desea evaluar.
Determinación de sus seis componentes.	De acuerdo con diferentes artículos y publicaciones, se determinan la forma como serán calculados cada uno de los componentes de la opción real seleccionada S , X , t , σ , r_f y D .
Valorización.	Seguidamente ya teniendo determinados dichos componentes que servirán para el cálculo de la opción, se procede a realizar los flujos de caja del proyecto sin contemplar la opción y realizar una Simulación Montecarlo en el software @RISK, de la cual se toman los datos de los componentes de la opción y se realiza su respectivo árbol binomial para determinar el VPN del proyecto considerando la opción.

Fuente: Los autores.

TABLA 3. Integración de los criterios y opciones reales implícitas de administración de capacidad mediante caso estudio.

Actividad	Descripción de Actividades
Caso estudio.	Se realiza la introducción de la empresa representativa del sector papel, en la cual se ilustrará el caso estudio para la comprensión del modelo de evaluación. Posteriormente se definen los parámetros y variables de entrada del modelo para luego así valorarlo sin contemplar la opción real, esto con el fin de calcular el Valor presente neto contemplando el valor de la opción real y así poder construir el árbol de evolución del proyecto para llegar al valor presente ampliado del proyecto, el cual será el indicador financiero. Después de tener los valores de todos los siete indicadores, se explica el método escogido de normalización, ya que al ser indicadores con diferentes unidades de medida, es necesario convertir estos valores en adimensionales para valorarlos correctamente. De esta manera, se explica el método para valorar e integrar dichos indicadores incluyendo el financiero, por medio de un Scoring o Promedio Ponderado, con el que se realiza la valoración del proyecto de inversión, para esto, teniendo los indicadores normalizados se procede a asignar el porcentaje a cada uno de los criterios dada en la calificación del experto, para posteriormente mediante un Scoring realizar la valoración de la opción seleccionada y obtener el valor de la opción tomada.
Análisis de los resultados obtenidos.	Finalmente, se realiza una comparación entre los resultados arrojados por la valoración del modelo propuesto para la opción de capacidad y la valoración realizada anteriormente sin el modelo.

Fuente: Los autores.

1.4 MARCO DE REFERENCIA

En este apartado se tratan los elementos conceptuales y prácticos tenidos en cuenta para la elaboración de este trabajo de grado, como los inicios y el concepto de la estrategia de operaciones en el cual se explica la importancia de dicha estrategia como herramienta para lograr una ventaja competitiva, y los diferentes tipos de categorización y su contenido para esta estrategia. Por último se describen algunas de las diferentes formas como se ha abordado la medición de la flexibilidad en la decisión estructural de administración de la capacidad de la estrategia de operaciones.

Estrategia de operaciones

Inicios

En principio la función de producción no era tomada en cuenta para el logro de una ventaja competitiva que soportara la estrategia empresarial, no fue sino en 1969 cuando Skinner le otorgo a ésta un papel estratégico, en el cual propone que el concepto de estrategia de producción toma importancia por su contribución a la mejora de la posición competitiva de la empresa y de la industria. Las aportaciones de Skinner se convierten en la piedra angular de las investigaciones siguientes en estrategia de producción durante las últimas tres décadas (Díaz, 2003).

Conceptos

Díaz (2003) en su tesis doctoral abarca las diferentes definiciones que se han planteado a lo largo del tiempo para la estrategia de producción en la literatura especializada comenzando con Skinner (1978) quien la define como “la tarea que la producción debe llevar a cabo”, Mayer y Moore (1983) como “un plan que describe las pautas para producir y distribuir los productos”, Hayes y Wheelwright (1984, 1985) como “un patrón de decisiones en producción consistentes con la estrategia competitiva”, Fine y Hax (1985) como “una parte crítica de la estrategia corporativa y competitiva que comprende un conjunto bien coordinado de objetivos y programas de acción dirigidos a asegurar

una ventaja competitiva sostenible a largo plazo”, Schroeder et al. (1986) como “una visión o plan a largo plazo para la función de producción”, Hill (1987) como “la representación de un enfoque coordinado que intenta lograr la consistencia entre las capacidades y políticas de las distintas áreas funcionales para alcanzar el mayor éxito en el mercado”, Swamidass y Newell (1987) como “una herramienta para el uso efectivo de las fortalezas en producción con el fin de lograr los objetivos competitivos y corporativos”, Swink y Way (1995) como “decisiones o planes de acción que afectan a los recursos y a las políticas directamente relacionados con la producción y entrega de bienes tangibles”, Slack y Lewis (2002) como “un completo patrón de decisiones que determinan las capacidades de producción a largo plazo y contribuyen a la estrategia global de la firma”, por ultimo Díaz (2003) recoge en el documento las anteriores definiciones en una, definiéndola 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” (Díaz, 2003 Pág. 18).

Contenido

El contenido de la estrategia de operaciones comprende dos elementos: las decisiones estratégicas de producción y las prioridades competitivas.

Decisiones estratégicas de producción

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), respaldada por Hayes et al. (1988), Hill (1989), Díaz (2003), Matta y Semeraro (2005), y Micán (2012). En la siguiente tabla se presentan las distintas decisiones de la estrategia de producción.

TABLA 4. Categorías de las decisiones estratégicas de producción.

AUTORES	DECISIONES ESTRUCTURALES	DECISIONES INFRAESTRUCTURALES
Skinner(1969)	* Planta y Equipo	* Planificación y control * Organización y gestión * Personal * Diseño producto
Wheelwright (1981)	* Tecnología del proceso y del producto * Integración vertical * Capacidad * Tamaño y localización	* Planificación de la producción y de los materiales * Organización * Fuerza laboral * Control de calidad
Wheelwright (1978) Hayes y Wheelwright (1984) Hayes, Wheelwright y Clark (1988)	* Tecnología del proceso de producción * Grado integración vertical * Planificación de la capacidad * Instalaciones (tamaño y localización)	* Sistemas de planificación y control de producción * Organización * Gestión de personal * Gestión de calidad * Desarrollo de nuevos productos * Sistema de medida del desempeño
Buffa (1984)	* Tecnología de producto y proceso * Estrategia con proveedores * Capacidad/Localización	* Implicaciones estratégicas de las decisiones operativas * Diseño trabajo y fuerza laboral * Sistemas de producción
Fine y Hax (1985)	* Tecnología de proceso * Integración vertical * Capacidad * Localización	* Infraestructura de producción (sistemas de control) * Recursos humanos * Calidad * Nuevos productos
Schonberger y Knod (1988)		* Planificación de la producción * Programación de la producción * Control de inventarios * Mantenimiento
Platts y Gregory (1990, 1992)	* Proceso productivo * Proveedores * Instalaciones * Capacidad	* Sistemas de control * Calidad * Recursos humanos * Nuevos productos
Krajewsky y Ritzman (2000)	* Nuevas tecnologías * Capacidad, distribución y localización de planta * Selección producto y proceso * Fijación de objetivos a L/P	* Mano de obra * Gestión de la calidad * Aprovisionamiento de materiales * Diseño del producto y del proceso

Fuente: Díaz (2003). Página 65.

En la literatura especializada aparecen numerosos estudios que tratan de delimitar las decisiones de la estrategia de operaciones, trabajos como el de Skinner (1969), Wheelwright (1978, 1981, 1988), Hayes y Wheelwright (1984), Buffa (1984), Fine y Hax (1985), Hayes (1988), Clark (1988), Schonberger y Knod (1988), Platts y Gregory (1990, 1992) y Krajewsky y Ritzman (2000). En la tabla 4 se muestran las distintas decisiones de la estrategia de producción.

Con relación a los enfoques acerca de la estructura de estrategia de operaciones, Hayes & Wheelwright plantean en su libro “Restoring our competitive edge: competing through manufacturing”, publicado en su primera edición en el año 1984, que las empresas manufactureras se enfrentan día a día a la toma de decisiones para lograr una ventaja competitiva frente a las demás organizaciones, en donde estas empresas recurren a la estrategia de operaciones, específicamente a la capacidad de fabricación global superior, en donde la mayor parte de la fuerza de trabajo está vinculada a la función de producción.

Hayes y Wheelwright (1984) definen las prioridades competitivas como preferencias estratégicas que describen la manera de competir de la empresa en los mercados seleccionados y se encuentran, al menos en su mayor parte, bajo la responsabilidad de la función de producción, esto lo hacen utilizando un modelo de 4 etapas que refleja una trayectoria hacia una mayor implicación estratégica de la función de producción.

Con relación a las decisiones estructurales de administración de la capacidad, decisión objeto de estudio en esta propuesta de investigación, Matta y Semeraro (2005) en el primer capítulo de su libro “Design of advanced manufacturing systems” plantean las dimensiones que envuelven dicha administración de la capacidad en términos de tipo, valor y costo; siendo los tipos de administración de la capacidad la dimensión a considerar para las diferentes alternativas de decisión. Estos mismos autores mencionan también en el mismo documento algunos de estos tipos que son: común o avanzado, rígido o flexible, intensivo en capital o no, y automatizado o manual.

Krajewsky y otros (2000), en su libro “Administración de operaciones” mencionan dos aspectos importantes a tener en cuenta en la administración de capacidad, las cuales son el cuándo expandir y en qué medida hacerlo; en donde se pueden tomar decisiones que involucren “saltos grandes e infrecuentes de la capacidad” (estrategia expansionista), o “saltos pequeños y frecuentes”(estrategia de esperar y ver).

Prioridades competitivas

En la literatura se presenta una lista amplia de variables o prioridades competitivas que varios autores han delimitado en cuatro, siguiendo a Wheelwright (1978), autores como Romano (1983), Wheelwright (1984), Adam y Swamidass (1989), Anderson et al. (1989), Hill (1989) y Samson (1991). Russell y Taylor (2006) consideran que las prioridades competitivas se pueden centrar en cuatro situaciones básicas: competencia por costo, por calidad, por velocidad (tiempo) y por flexibilidad. Estos cuatro componentes de éxito son utilizados hoy en día, sin embargo, la flexibilidad por ser propiedad fundamental del sistema de manufactura para reaccionar a las condiciones cambiantes que presenta el entorno y las necesidades de proceso y de los clientes para mantenerse así competitivas, hace que esta prioridad sea un componente sumamente importante hoy en día para la estrategia de operaciones, y para mantenerse competitivas.

Definir flexibilidad en el campo empresarial no ha sido fácil, se encuentran varias definiciones, tomando la de Upton (1994, citado por Manyoma 2011, pág. 63) quien entrelaza diferentes definiciones, la define como “Un concepto complejo y multidimensional que representa la habilidad o capacidad de un sistema 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”.

Al momento de definir las dimensiones de la flexibilidad se encuentra un consenso entre autores, pudiéndolas definir como: flexibilidad en volumen, flexibilidad en producto, flexibilidad en máquina, equipos y herramientas, flexibilidad en manejo de materiales,

flexibilidad de ruta, flexibilidad laboral, flexibilidad en programación de operaciones y procesos, flexibilidad en expansión, flexibilidad en materiales, flexibilidad en tiempos de entrega y flexibilidad en alcance con el proveedor, siendo estos tipos objeto de estudio, unos más que otros, en las investigaciones de las últimas décadas como lo son la flexibilidad de volumen y la flexibilidad de productos (Manyoma, 2011).

Shewchuk y Moodie(1998) en su artículo “Definition and Classification of manufacturing flexibility types and measures”, muestran los diferentes atributos que se deben tener en cuenta para determinar el tipo de flexibilidad utilizado en un sistema de producción de una empresa, estos atributos son: especificación del nivel requerido de fabricación, especificación del sistema de manufactura, especificación del ambiente de manufactura, dimensión de flexibilidad, enfoque en las medidas de flexibilidad, y marco de tiempo. La combinación de todos estos tipos de atributos muestra el tipo de flexibilidad

FLEXIBILIDAD OPERATIVA Y OPCIONES REALES

El concepto “Opción Real” se origina en el campo de las finanzas en 1984 con Myers en su artículo “Finance theory and financial strategy” donde describe la evaluación de activos no financieros por medio de opciones reales suponiendo que las opciones se refieren a activos (tales como acciones) negociados en un mercado (Myers 1984).

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 oportunidad es por tanto representa 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), mediante un conjunto de técnicas para valorar la flexibilidad de un proyecto. El análisis de opciones reales es el conjunto de técnicas para valorar la flexibilidad de un proyecto (Mascareñas et al. 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 alinean 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 valoraciones se realizan por medio de modelos ampliamente conocidos, uno es el método del árbol binomial, el cual 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, el cual fue desarrollado antes que el modelo binomial con la diferencia que en el modelo Black & Scholes los períodos de tiempo evaluados son instantáneos y es utilizado únicamente para opciones de tipo europeo (Mascareñas et al. 2004).

Al momento de valorar las decisiones de flexibilidad operacional, se considera la publicación presentada por Bengtsson (2001), ya que realiza una revisión de documentación relacionada a los tipos de decisiones de flexibilidad operacional abordadas desde la parte de opciones reales.

En el año 2003, YEO publica un artículo titulado “The value of management flexibility a real option approach to investment evaluation” en donde utilizan el enfoque de opciones reales para determinar el valor de la administración de la flexibilidad y evaluar los proyectos de inversión en el sistema operativo.

Más adelante en el año 2011, Manyoma publica un artículo titulado “Medición de la flexibilidad en manufactura”, en el cual identifica y define elementos que pueden medir la flexibilidad de una empresa de producción en la dimensión operativa, en donde establece diferentes tipos de flexibilidad (volumen; producto; máquina, equipos y herramientas; manejo de materiales; ruta; laboral), y cada uno están compuestos de tres elementos (Rango, Movilidad, y uniformidad).

Los artículos que se acaban de mencionar en el apartado son considerados los que mayor relevancia tienen en el tema entre la diversa bibliografía encontrada, ya que su enfoque se asemeja al contenido de este trabajo de grado.

FLEXIBILIDAD OPERATIVA Y TÉCNICAS MULTICRITERIO

En cuanto al enfoque de la medida de la flexibilidad, existen diversas técnicas con las cuales es posible dar una valoración a los diferentes proyectos de inversión teniendo en cuenta diferentes criterios incluyendo el criterio de flexibilidad operativa. Dichas técnicas permiten considerar problemas de decisión con múltiples objetivos y con información cuantitativa y cualitativa (Roche et al. 2005).

La herramienta *Scoring* es una manera rápida y sencilla para identificar la alternativa preferible en un problema de decisión multicriterio, la alternativa con el Score más alto representa la alternativa a recomendar. (Roche et al. 2005).

El AHP o *AnalyticHierarchyProcess* (*Modelo Proceso Analítico Jerárquico*), es un método matemático creado para evaluar alternativas cuando se tienen en consideración varios criterios. En ocasiones los problemas que se enfrentan obligan a considerar criterios cuya cuantificación es difícil de obtener. La alternativa con mayor porcentaje obtenido en el vector de prioridad global es la alternativa escogida para ser desarrollada (Roche et al. 2005).

En el año 2001, Kamal y otros, publica un artículo en el cual presenta la aplicación del AHP en gestión de proyectos. En el documento revisa los conceptos y la aplicación de análisis de múltiples criterios de decisión, medidas de aplicación del AHP y su demostración (Kamal et al. 2001).

Manyoma en su trabajo de grado de maestría en ingeniería industrial de la Universidad del Valle elaborado en el 2006, plantea que es necesario implementar diferentes tipos de criterios o atributos para la toma de decisiones de flexibilidad operativa, mostrando las herramientas que giran en torno a la toma de estas decisiones considerando múltiples etapas (diferentes momentos de tiempo) y considerando múltiples atributos

utilizando el Modelo Proceso Analítico Jerárquico AHP, para luego terminar con una detallada estructuración de opciones reales (Manyoma 2006).

El *Topsis* se desarrolló basado en el concepto de que la alternativa escogida debería tener la distancia más corta a la solución ideal positiva y la distancia más larga a la solución ideal negativa (Roche et al. 2005).

En el año 2010, Morteza Pakdin Amiri propone una nueva metodología para proporcionar un método sencillo para evaluar los proyectos alternativos y ayudar a la toma de decisiones para seleccionar la mejor opción para National Iranian Oil Company utilizando seis criterios de comparación de alternativas de inversión como criterio en un AHP y técnicas Topsis. El AHP se utiliza para analizar la estructura del problema de la selección del proyecto y para determinar los pesos de los criterios, y el método TOPSIS se utiliza para obtener la clasificación final. Esta aplicación se lleva a cabo para ilustrar la utilización del modelo para los problemas de selección de proyectos (Pakdin 2010).

2. CAPITULO II. DETERMINACIÓN DE CRITERIOS EN LOS TIPOS DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD

En este capítulo se estudiarán los diferentes tipos de decisión de administración de capacidad que existen en los sistemas operativos, teniendo en cuenta diferentes alternativas a escoger para el sistema de producción. Además de estas alternativas, también se tendrán en cuenta diferentes criterios estratégicos, técnicos y económicos con sus respectivos indicadores de medida en este tipo de decisiones, enfocándose al final en cada una de las etapas de los procesos en el sector productivo del papel por ser el sector objeto de estudio.

2.1 DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DECISIONES ESTRATÉGICAS DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD

Con relación a la administración de la capacidad, Matta y Semeraro (2005) en el primer capítulo de su libro “Design of advanced manufacturing systems” plantean las dimensiones que envuelven dicha administración de la capacidad en términos de tipo, valor y costo; siendo los tipos de decisiones de administración de la capacidad la dimensión a considerar para las diferentes alternativas de decisión. Estos mismos autores mencionan también en el mismo documento algunos de estos tipos que son:

- Común o avanzado
- Rígido o flexible
- Intensivo en Capital o no
- Automatizado o manual

Estos tipos anteriormente mencionados se encuentran incluidos, según los autores, en dos tipos de sistema de manufactura, los sistemas de fabricación dedicados –SFD- y los sistemas de fabricación flexibles –SFF-.

Para reforzar el tema del momento y la cantidad de expansión, Krajewski, Ritzman y Malhotra (2008) mencionan unos factores específicos para la determinación de estas dos variables, la oportunidad y el tamaño de la capacidad.

2.1.1 Sistemas de Fabricación Dedicados

Son aquellos sistemas que son concebidos, diseñados y gestionados oportunamente a las necesidades de un producto o de una familia muy restringida de productos. Las principales características de estos sistemas son (Mata y Semeraro, 2005):

Equipos rígidos. El equipo está diseñado para satisfacer las necesidades del producto, o de la familia restringida de productos, a los que todo el sistema está dedicado. Por lo tanto las máquinas y dispositivos tales como transportadores, pinzas, etc. están diseñados para llevar a cabo un conjunto muy limitado de operaciones que no se pueden expandir a menos que se incurra en gastos grandes. Estaciones en las líneas de transferencia son un típico ejemplo de equipo de rigidez. Normalmente los movimientos de la máquina no son numéricamente controlados por un ordenador, pero mecánicamente por medio de levas u otros dispositivos mecánicos.

Las altas tasas de producción. El equipo está activo y está normalmente diseñado para reducir los tiempos de procesamiento, o realizar operaciones en paralelo. Como consecuencia de esto, la maquina está permitiendo que el sistema alcance rápidamente las tasas de producción más altas en comparación con otros (por ejemplo, sistemas de fabricación flexibles).

Las bajas cualificaciones. Las habilidades necesarias para ejecutar el sistema son normalmente bajos desde trabajos humanos se reducen a la carga y descarga de piezas y mantenimiento.

Fácil gestión. Dado el número limitado de productos a los procesos de SFD, y la simplicidad de los flujos en el sistema, la programación de los recursos es muy fácil.

Baja inversión. El equipo es rígido y todo está diseñado para llevar a cabo únicamente las operaciones que son necesarias para la fabricación de los productos a los que se dedica la SFD. Por lo tanto el costo de inversión del sistema no es grande si se compara con la de los sistemas más flexibles con máquinas de control numérico.

El exceso de capacidad. La cantidad de la capacidad no utilizada, debido a la falta de demanda no puede ser utilizada para la fabricación de diferentes productos. Por esta razón, el valor residual de la inversión es muy pequeño.

2.1.2 Sistemas de Fabricación Flexible

Sistema de fabricación automatizado capaz, con una acción humana mínima, de producir cualquier tipo de pieza que pertenece a una familia predefinida, estos sistemas son generalmente adoptados para la producción en pequeños o medianos volúmenes, en tamaños de lote variables que difieren también en su composición. La flexibilidad del sistema se limita generalmente a la familia de tipos de piezas en el que está concebido el sistema. Los SFF tienen dispositivos para la planificación de la fabricación, la programación de los recursos y el ahorro de los datos de producción. Como señala la definición anterior, las principales características de los SFF son (Mata y Semeraro, 2005):

Equipo flexible. El equipo es lo suficientemente flexible para satisfacer las necesidades de todos los productos que pertenecen a la familia. De hecho todas las máquinas son de tipo CNC (Control Numérico por Computadora) y pueden ser programados para llevar a cabo un gran número de operaciones. En la práctica, sólo se necesita la capacidad de escribir un programa de ordenador sencillo para codificar el ciclo de proceso de un producto en las instrucciones que el control numérico de la máquina puede leer, entender y operar para ejecutarlos.

Las bajas tasas de producción. Las máquinas tienen generalmente un eje para la ejecución de operaciones de forma secuencial. Como consecuencia, las máquinas son generalmente lentas en comparación con las máquinas de SFD. Las innovaciones recientes tales como máquinas con tornillo sin fin y motores lineales se están extendiendo rápidamente en los SFF, reduciendo así los tiempos de procesamiento y movimientos rápidos inactivos respectivamente.

Habilidades Medias/Altas. Las habilidades necesarias para ejecutar el sistema requieren un mínimo de conocimiento en programación y gestión de máquinas de control numérico.

Gestión compleja. La gestión de los SFF se complica por el gran número de productos. En efecto, para cada producto es necesario programar adecuadamente máquinas, instalaciones y utillaje.

Gran inversión. Las máquinas son flexibles y requieren grandes inversiones. Por lo tanto, el costo de inversión del sistema es muy grande si se compara con la de los sistemas dedicados.

El exceso de capacidad. La cantidad de la capacidad no utilizada, debido a la falta de demanda se puede utilizar para la fabricación de diferentes productos. El valor residual de la inversión tiene en cuenta esta cuestión.

Estos mismos autores mencionan que no solamente se debe tener en cuenta el tipo de capacidad, además se necesita saber el momento y la cantidad a expandir si se requiere hacerlo. Matta y Semeraro (2005), mencionan que las empresas deben decidir sobre el tipo de capacidad para utilizar en la fabricación, la cantidad y el momento en el cual adquirir capacidad.

Muchos factores como la flexibilidad se ven afectados por la capacidad de elección debido a que un exceso de capacidad permite a la empresa más flexibilidad para reaccionar a cambios en la demanda del mercado.

Dependiendo del tipo de equipo seleccionado para cambiar la capacidad de la empresa, se modifica el mix de producción, por ejemplo una máquina rígida obliga a la empresa a ejecutar lotes grandes con el fin de evitar costosos tiempos de puesta a punto.

Por otra parte, el tipo de capacidad también puede influir en la calidad de los productos, por ejemplo, diferentes máquinas o herramientas alcanzan diferentes precisiones y por lo tanto, los productos terminan con diferentes niveles de calidad.

2.1.3 Determinación del momento y cantidad de expansión

En los diferentes casos de opciones de capacidad, independientemente si es de crecimiento o de reducción, se plantean dos preguntas a la hora de realizar una inversión en capacidad como menciona Krajewsky en su libro Administración de Operaciones (Krajewsky et.al., 2008). Antes de tomar una decisión referente a la capacidad, se deben tener en cuenta tres dimensiones de la estrategia de capacidad: 1) El tamaño de los colchones de capacidad, 2) la oportunidad y la magnitud de la expansión y, 3) la vinculación de la capacidad de los procesos con otras decisiones de operación.

- **El tamaño de los colchones de capacidad**

Las tasas de utilización promedio no deben acercarse demasiado a 100% en el largo plazo, esto se ve cuando la demanda aumenta con el tiempo, si esto sucede es necesario pensar en un aumento de capacidad, esto con el fin de evitar un descenso en la productividad. El colchón de capacidad, es *“la cantidad de capacidad de reserva que se usa en un proceso para hacer frente a los incrementos repentinos de la demanda o las pérdidas temporales de capacidad de producción; es una medida de la cantidad por la cual la utilización promedio es inferior a 100%”* -Fórmula (2.1)- (Krajewsky et al, 2008, pág. 268).

$$\text{Colchón de capacidad} = 100\% - \text{tasa de utilización (\%)} \quad (2.1)$$

El tamaño apropiado del colchón varía para cada industria, un gran tamaño del colchón es apropiado cuando la demanda varía o cuando se tiene incertidumbre de la demanda futura, sobre todo si la flexibilidad de los recursos es baja. Otro tipo de incertidumbre se presenta cuando la mezcla de productos cambia, generando cambios en la carga en los centros de trabajo. En la industria del papel, que es intensiva en términos de capital y cuyas máquinas llegan a costar cientos de millones de dólares cada una, resultan preferibles los colchones muy por debajo de 10% (Krajewsky et al, 2008, pág. 268).

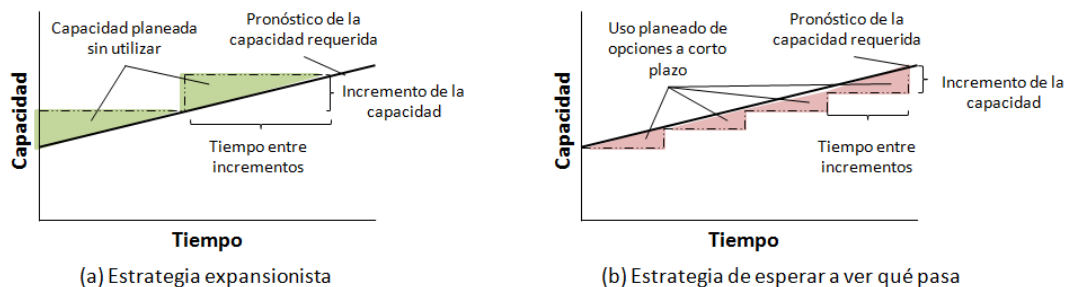
- **La oportunidad y la magnitud de la expansión**

El segundo aspecto clave de la estrategia de capacidad es cuándo expandirla y en qué medida. Existen dos estrategias, la estrategia expansionista, que supone saltos grandes e infrecuentes y la estrategia de esperar a ver qué pasa que supone saltos pequeños y frecuentes.

La oportunidad y la magnitud están relacionadas entre sí, si la demanda crece y el tiempo entre dos incrementos aumenta, la magnitud de los incrementos también debe aumentar. La estrategia expansionista -Figura 1 (a)-, que se mantiene delante de la demanda, minimiza la posibilidad de perder ventas por capacidad insuficiente. La estrategia de esperar a ver qué pasa se rezaga con respecto a la demanda y depende de opciones a corto plazo, como el uso de tiempo extra, trabajadores eventuales, subcontrataciones, agotar el inventario, y aplazar el mantenimiento preventivo del equipo, para compensar cualquier déficit.

La estrategia conservadora -Figura 1 (b)-, reduce los riesgos de una expansión excesiva basados en pronósticos demasiado optimistas, tecnología obsoleta o suposiciones inexactas a cerca de la competencia. Sin embargo, esta estrategia tiene sus contras, como el adelanto por parte de la competencia o incapacidad de responder a fluctuaciones altas de la demanda, o también a largo plazo puede disminuir la participación del mercado.

FIGURA 1. Estrategias de Capacidad.



Fuente: Krajewsky et.al., 2008. Pág 269.

- ***La vinculación de la capacidad de los procesos con otras decisiones de operación***

Cuando se toman decisiones acerca del diseño de los procesos, la determinación del grado de flexibilidad de los recursos e inventario, y la localización de las instalaciones, deben considerar el impacto en los colchones de capacidad, los cuales protegen a la organización frente a la incertidumbre, lo mismo que la flexibilidad de los recursos, los inventarios y los tiempos más prolongados de entrega al cliente. Si se hace un cambio en cualquier área de decisión es posible que tenga que cambiar el colchón de capacidad para compensar. Los colchones de capacidad también pueden reducirse si la planificación de las ventas y operaciones se usa más para uniformar la tasa de producción.

2.1.4 Etapas estratégicas de capacidad

Desde otro punto de vista, más desde la perspectiva estratégica, autores a la fecha como Eloísa Díaz Garrido (2003), consideran como referencias vigentes los aportes estratégicos de Hayes & Wheelwright en su libro *Manufacturing Competitive Edge: Competing Through Manufacturing* (1984), en el cual mencionan cuatro etapas de desarrollo en el papel estratégico de la fabricación a lo largo de un tiempo continuo que se muestran en la Tabla 5.

Antes de describir cada etapa detalladamente, los autores relatan que dichas etapas no son mutuamente excluyentes y que todas las operaciones incorporan conjuntos de importantes elecciones acerca de factores tales como la administración de la capacidad.

También aclaran que es difícil pero no imposible saltar una de las etapas, sin embargo esto aumenta la probabilidad de falla de la decisión.

TABLA 5. Etapas estratégicas de Capacidad.

ETAPA 1	Minimizar el potencial negativo de fabricación: "Internamente neutral"	Expertos externos son llamados para tomar decisiones sobre cuestiones estratégicas de fabricación. Internamente, los sistemas de control de gestión detallados son los medios principales para la supervisión del rendimiento de fabricación. La fabricación se mantiene flexible y reactiva.
ETAPA 2	Lograr la paridad con los competidores: "Externamente neutral"	Se sigue las "Prácticas de la industria" El horizonte de planificación para las decisiones de inversión de fabricación se amplió para incorporar un solo ciclo económico. La inversión de capital es el principal medio para ponerse al día con la competencia o lograr una ventaja competitiva.
ETAPA 3	Proporcionar apoyo creíble a la estrategia de negocio: "Apoyo interno"	Las inversiones industriales son examinadas para detectar la coherencia con la estrategia de negocio. Una estrategia de fabricación es formulada y seguida. Los desarrollos de fabricación a largo plazo y las tendencias se abordan sistemáticamente.
ETAPA 4	Buscar una base de fabricación para ventaja competitiva: "Apoyo externo"	Se hacen esfuerzos para anticipar el potencial de las nuevas prácticas y tecnologías de fabricación. La fabricación está involucrada "por adelantado" en las principales decisiones de marketing y de ingeniería (y vice versa). Programas de largo alcance se persiguen con el fin de adquirir las capacidades de anticipación de las necesidades.

Fuente: Consolidado de Hayes Robert and Wheelwright Steven (1984).

El cumplimiento de las cuatro etapas anteriormente mencionadas genera un bien en las organizaciones en cuanto a la capacidad de fabricación, ya que la fabricación es una fuente valiosa de talento de gestión general para toda la organización (Hayes & Wheelwright, 1984). Es por esto que el enfoque que tendrá este proyecto será enfocado a la capacidad de fabricación, ya que son muchos los factores a tener en cuenta para llevar a cabo la toma de decisiones en proyectos de administración de capacidad.

2.1.5 Caracterización del sector productivo

Para impulsar la productividad y la competitividad de las regiones el Gobierno Nacional ha planteado las apuestas productivas para cada región y las estrategias competitivas para cada sector productivo por medio de proyectos que fomenten la productividad de la región y del sector.

Teniendo en cuenta criterios como su participación en el PIB regional, la generación de empleo, su viabilidad, la articulación con otros proyectos, el impacto sobre el territorio y el potencial exportador, la cadena productiva de pulpa, papel, cartón y artes gráficas es una de las apuestas productivas del sector industrial por la calidad de su mano de obra y la experiencia acumulada en esta actividad. La estrategia que el Valle propone para la cadena es concentrarse en el desarrollo de productos con un alto componente tecnológico y con valor agregado.

Esta cadena productiva 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 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.

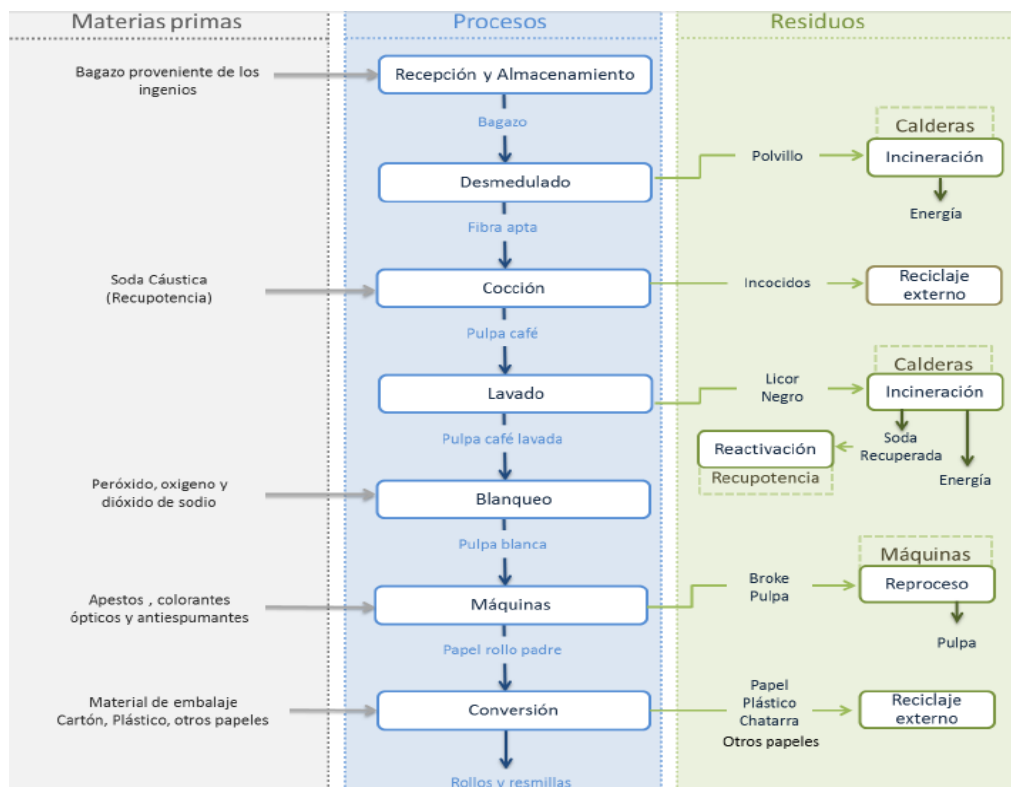
Las necesidades que presenta la cadena son integrar la cadena productiva ya que una de las características de la estructura productiva del Valle es su diversidad y alto grado de integración, además de dinamizar el desarrollo de sus eslabones en la región, reducir los costos de energía y la seguridad ciudadana (DNP, 2007a).

A pesar de la ventaja competitiva en el sector anteriormente mencionada, también cabe aclarar que existe una desventaja, ya que debido diferentes factores, entre esos, los avances tecnológicos, ha disminuido la demanda del papel; en el marco del trabajo de grado, esta información es importante ya que puede ayudar en el momento de determinar un tipo de decisión de capacidad y de opción real.

2.1.6 Caracterización del proceso productivo del papel

En la Figura 2 se muestra la caracterización del proceso productivo del papel mediante un diagrama de bloques en donde se muestran cuáles son los materiales de entrada, los diferentes procesos y las salidas a cada uno de estos procesos.

FIGURA 2. Diagrama de Bloques del proceso de Fabricación de Papel.



Fuente: Tenorio & Mena (2013). Pág 39.

2.1.7 Decisiones de Administración de Capacidad por Etapa de Proceso

Para analizar los tipos de decisión en las diferentes etapas del proceso productivo descritas en el numeral 2.2.2, se realizó un cruce comparativo entre estos tipos de decisión inmersos en las etapas del proceso, las cuales se puede observar en la Tabla 6. En donde la primera decisión (D1) es un sistema Común, la empresa maneja una maquinaria común en el sector papel, es decir, no tienen maquinaria con innovación tecnológica; la segunda decisión (D2) equivale a un sistema Flexible, dado que la empresa posee una maquinaria que le permite responder a los cambios del entorno en volumen y es capaz de producir cualquier tipo de producto que pertenezca a una familia predefinida; la tercera decisión (D3) corresponde a la de Intensivo en Capital, este sector requiere una gran inversión en maquinaria; y la cuarta decisión (D4) vale por la decisión de sistema Automatizado, los movimientos de las máquinas son numéricamente controlados por un ordenador. Todas estas decisiones se relacionan dado que una decisión implica la otra, es el caso si la maquinaria es automatizada esto implica mayor inversión en capital, a mayor inversión en capital será más flexible.

Adicionalmente a la investigación, 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 que tiene un amplio conocimiento en el sistema operativo del sector, como también en las características de cada una de las operaciones que conforman el proceso productivo, especialmente en decisiones de capacidad, flexibilidad en manufactura y automatización. Además de tener conocimientos técnicos, esta persona posee información estratégica en el negocio y por ende conoce las diferentes opciones que se pueden tomar en la empresa para lograr una ventaja competitiva. El experto lleva más de 15 años trabajando directamente en el sector objeto de estudio.

TABLA 6. Decisiones de administración de capacidad por etapas del proceso.

TIPOS DE DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD		Etapa 1: Producción de la pulpa			Etapa 2: Blanqueo de la pulpa		Etapa 3: Producción de papel			
		Desmedulado	Cocción	Lavado	Tratamiento de blanqueo	Eliminación de químicos residuales	Preparación de la pasta	Máquina de Fabricación de papel	Embobinado y Corte	Embalaje y Empaque
D1	Común	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Avanzado									
D2	Rígido									
	Flexible	X	X	X	X	X	X	X	X	X
D3	No capital intensivo									
	Capital intensivo	X	X	X	X	X	X	X	X	X
D4	Manual									
	Automatizado	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: Los autores.

En la etapa de producción de la pasta, específicamente en el proceso de cocción se utilizan máquinas digestoras las cuales eliminan la lignina mediante un proceso químico con soda cáustica y vapor, anterior a este proceso la fibra tratada es almacenada en grandes cantidades que pueden ser utilizadas en mayores proporciones a las usadas en la cocción actual, por lo tanto convierte al proceso de cocción como un proceso cuello botella para el caso estudio, el cual determina la velocidad de producción y por ende el aumento del número de digestores o de su tamaño aumentaría la tasa de producción. El proceso de Cocción al ser cuello de botella, se convierte en un proceso el cual puede expandir su capacidad. A su vez, esto incrementaría la cantidad de soda cáustica a utilizar y la cantidad de lignina retirada.

En esta misma etapa se encuentran los procesos de lavado y eliminación de impurezas, el primero se realiza mediante filtros lavadores y el segundo mediante un sistema de limpiadores centrífugos. En estos dos procesos para el caso estudio, se puede realizar un aumento en la capacidad mediante la implementación de sistemas en paralelo.

Dichas máquinas deben cumplir con las mismas características ya que de lo contrario modificaría la calidad del producto.

En la etapa de blanqueo para el caso estudio, la pasta ingresa a tres torres de retención ubicadas en serie, donde es tratada con uno de estos tres químicos oxígeno, ozono o peróxido mediante etapas sucesivas de blanqueo en cada torre de retención. En este proceso se puede aumentar la capacidad implementando otro sistema de torres de retención ubicadas en paralelo las cuales deben ser de las mismas características para evitar la variación en la calidad del producto. Al aumentar la capacidad en el proceso de blanqueo implica aumentar la capacidad en el proceso de limpieza esto implica un sistema de limpieza adicional compuesto por una malla de limpieza y dos refinadores cuya función es hacer más fina la eliminación de químicos residuales.

En la etapa de fabricación de la hoja de papel, la pasta blanqueada entra a la máquina de papel, esta cuenta con varias secciones: la caja de admisión, el área de formado de la hoja, de prensado, de secado, de encolado, de satinado, y de enrollado; se aumenta la capacidad mediante la adquisición de otra máquina que funcionaria en paralelo junto con la otra. Como se duplicara la capacidad, la salida de la máquina de papel también lo hará por lo que será necesario contar con el aumento en la capacidad del sistema automatizado de embalaje y etiquetado. Para el caso estudio, el aumento de la capacidad de todos estos equipos se debe tener en cuenta que todos conforman un sistema y el aumento de la capacidad de uno puede implicar la necesidad del aumento del otro, además del monto de la inversión y la necesidad de aumentar la cantidad de operarios y sus cualificaciones.

Una de las etapas finales del proceso de fabricación de papel es la etapa de corte, en donde el papel embobinado es cortado en resmas por dos máquinas. Las resmas de papel es uno de los productos que más se venden en la empresa escogida para el caso estudio, es por esto que se contempla la decisión de invertir en capacidad en máquinas cortadoras, que aumenten la producción de resmas.

Consolidando las diferentes etapas del proceso productivo en donde se puede intervenir en capacidad, se encontró que se pueden modificar el proceso de cocción en los digestores, lavado en las limpiadoras centrífugas, blanqueo en las torres de retención, en la máquina de papel y finalmente en las máquinas cortadoras.

2.2 CRITERIOS OPERATIVOS A TENER EN CUENTA AL EVALUAR LOS TIPOS DE DECISIONES

2.2.1 Selección de los criterios de decisión de capacidad

Debido a la importancia de la flexibilidad en manufactura como estrategia de operaciones en los sistemas manufactureros, es necesario definir la manera de evaluar efectivamente dicha flexibilidad, es aquí donde los criterios de decisión entran en juego, además de tener en cuenta la factibilidad económica se debe tener en cuenta el impacto organizacional de dichas decisiones de inversión en flexibilidad.

Stam y Kuula en 1991 en su artículo “Selecting a Flexible Manufacturing System using multiple criteria analysis” ejemplifican mediante un caso real su metodología de soporte para la toma decisiones de inversión estratégicas aplicada en la selección de una configuración de un FMS, utilizando seis criterios globales medidos mediante escalas cualitativas, cada uno con componentes detallados en la Tabla 7:

TABLA 7. Criterios y Componentes Stam y Kuula (1991).

CRITERIO	COMPONENTES
Costos de Inversión	Máquinas
	Plataforma e Instalaciones
	Transporte
	Almacenamiento y manejo de materiales
	Herramientas
	Software
	Planeación
	Entrenamiento
Capacidad	Capacidad Planeada
	Capacidad Reservada
Flexibilidad	Familia de Partes
	Complejidad de las partes
	Tamaño de lote
	Tiempo de Procesamiento
	Potencial Futuro

Tasa de Utilización	Ruta
	Tiempo Productivo
	Tiempo no Productivo
	Cambios en el uso
	Factores operacionales y organizacionales
	Programación de la Producción
Costos Unitarios	Costos laborales
	Costo de Capital
	Mantenimiento y Reparación
Riesgo Económico	Cambios en el mercado
	Cambios tecnológicos
	Problemas operacionales relacionados con el exceso de Capacidad

Fuente: Los autores.

En 1995 Shang y Sueyoshi en su artículo “A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System” presentan un método eficiente de medición llamado Data Envelopment Analysis (DEA) que unifica tres métodos: el AHP encargado de los criterios no monetarios asociados con la metas corporativas y los objetivos de largo plazo, el modelo de simulación que analiza los beneficios tangibles y el proceso contable que determina las entradas requeridas del DEA. Los criterios utilizados se muestran en la Tabla 8 con sus respectivos componentes:

TABLA 8. Criterios y Componentes Shang y Sueyoshi (1995).

CRITERIO	COMPONENTES
Flexibilidad	Economías de escala
	Capacidad reservada
	Adaptación a los cambios de diseño
Aprendizaje	Experiencia y experticia
	Ventaja Competitiva
	Líder en nuevas tecnologías
Incremento de Capacidad	Herramienta adicional
	Ahorros en inversiones futuras
	Introducción de nuevos productos
Exposición al malestar laboral	Grado de presión sindical directa
	Grado de presión sindical indirecta

Fuente: Los autores.

Chang, Jiang y Tang en su artículo “The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems” mencionan que el diseño de un sistema de manufactura flexible es una tarea compleja que tiene en cuenta 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.

TABLA 9. Criterios y Componentes Chang, Jiang y Tang (2000).

CRITERIO	COMPONENTES
Mantenimiento	Instalaciones
	Costo de instalación
	Costo operacional
Productividad	Tasa de producción
	Producción total
	Tiempo de espera
	Inventario
	Utilidad de la máquina
Flexibilidad	Tipo de pieza
	Máquina
	Proceso
	Producto
	Enrutamiento
	Expansión
	Operación
	Transferencia
Tiempo de construcción	Tiempo planeado
	Tiempo de aplicación
Riesgo de construcción	Riesgo técnico
	Riesgo operacional

Fuente: Los autores.

Una de las técnicas mencionadas por los autores es la Técnica Multicriterio AHP, es una metodología que ofrece la posibilidad de incorporar tanto factores cualitativos como cuantitativos en el proceso de toma de decisiones, en donde utiliza un modelo

jerárquico que comprende un objetivo, criterios y alternativas para cada problema o decisión.

Los criterios utilizados por Chang, Jiang y Tang se muestran en la Tabla 9, estos son evaluados por comparaciones por parejas, significa que un elemento se compara contra otro con respecto al nivel anterior.

En el 2006 Manyoma en su tesis de maestría “Desarrollo de una metodología de valoración multiatributo para el análisis de decisiones de flexibilidad en sistemas de producción” propone que dichos criterios pueden agruparse, para la selección de un tipo de sistema de flexibilidad, en tres elementos básicos: técnicos, económicos y externalidades.

Los **Criterios técnicos** representan posibilidades técnicas del sistema agrupadas en:

- **Factor humano:** perfiles requeridos y conocimiento necesario del sistema a emplear.
- **Capacidades:** capacidad teoría instalada y la real utilizada, que juntas permiten medir la rigidez y flexibilidad del sistema.
- **Flexibilidades:** Flexibilidad en volumen, producto, máquina-equipos y herramientas, manejo de materiales, laboral, programación de operaciones-procesos, ruta (re-ruteo), expansión, materiales, tiempos de entrega y en el alcance con el proveedor.

Las **externalidades** representan los cambios externos al sistema cambios de producto, mercado y tecnológicos.

Los **criterios económicos** tienen como subcriterios:

- **Inversiones** junto con el capital de trabajo necesario.
- **Costos de operación:** todos los costos relacionados con el funcionamiento del sistema (costos variables, costos fijos y costos relacionados con el cambio, también conocidos como set-up)

- **Beneficios:** determinados por el precio del producto que se obtiene del sistema y el número de unidades producidas.

El autor plantea que los anteriores subcriterios económicos pueden resumirse en el Valor Presente Neto (VPN).

En la Tabla 10, se muestran los criterios y sus componentes utilizados por Manyoma, los cuales consolidan gran parte de los criterios estudiados por los diferentes autores mencionados anteriormente en la Tablas 7, 8 y 9. Es por esto que para la realización de este trabajo de grado se utilizará esta clasificación de criterios.

Después de haber definido los criterios a tener en cuenta tanto económicos, estratégicos y operativos en las decisiones de capacidad desde la literatura, se procede a seleccionar los criterios estratégicos, técnicos y económicos que mayor impacto tienen en el sector productivo del papel. Esta selección, se realizó de acuerdo al Juicio del experto del sector productivo, en donde basándose en la clasificación de los criterios usada por el Ingeniero Pablo Cesar Manyoma –Tabla 10- se escogieron los criterios claves en los cuales se ve afectado el tipo de decisión de capacidad escogido.

La manera en la que se escogieron los criterios se generó por medio de una entrevista con el experto, en la cual se realizó un ranking básico de los criterios (ver Anexo C), y se organizaron de manera descendente, de mayor a menor influencia en el tipo de decisión. Estos criterios seleccionados se muestran en la Tabla 11.

TABLA 10. Criterios y Componentes Pablo Manyoma (2011).

CRITERIO	GRUPO	COMPONENTES
Técnico	Factor humano	Perfiles requeridos
		Conocimiento necesario sistema a emplear
	Capacidades	Capacidad teoría instalada
		Capacidad real utilizada
		Que juntas permiten medir la rigidez
		Que juntas permiten medir la flexibilidad del sistema
	Flexibilidades	Volumen
		Producto
		Máquina-equipos
		Herramientas
		Manejo de materiales
		Laboral
		Programación de operaciones-procesos
		Ruta (re-ruteo)
		Expansión
		Materiales
		Tiempos de entrega
		Alcance con el proveedor
Externalidades	Cambios externos al sistema	Cambios de producto
		Cambios de mercado
		Cambios tecnológicos
Económico	Inversiones	Inversiones
		Capital de trabajo necesario
	Costos de operación	Costos variables
		Costos fijos
		Costos relacionados con el cambio
		Costos conocidos (set-up)
	Beneficios	Precio del producto
		Número de unidades producidas

Fuente: Los autores.

TABLA 11. Selección de Criterios a tener en cuenta en decisiones de Capacidad.

CRITERIOS ESTRATÉGICOS	CRITERIOS TÉCNICOS	CRITERIOS ECONÓMICOS
Cambios de Mercado Cambios Tecnológicos	Capacidad instalada Capacidad Utilizada Flexibilidad en Volumen Flexibilidad Máquina-Equipo	Beneficios

Fuente: Los autores.

2.2.2 Indicadores y forma de medir los criterios

Para poder medir los criterios Estratégicos, Técnicos y Económicos definidos, es necesario establecer indicadores que permitan cuantificar el resultado de dichas decisiones estratégicas, para esto se describirá cada indicador y se definirá su unidad de medida. Estos indicadores que se muestran en las Tablas 12, 13 y 14; son obtenidos por medio de revisión bibliográfica y son validados por el experto.

TABLA 12. Indicadores para Criterios Estratégicos.

INDICADORES PARA CRITERIOS ESTRATÉGICOS	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Cambios de Mercado: Se califica con una escala cualitativa dependiendo que acciones 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 Fuente: Entrevista al experto del sector.
Cambios Tecnológicos: Se califica con una escala cualitativa dependiendo 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.

Fuente: Los autores.

TABLA 13. Indicadores para Criterios Técnicos.

INDICADORES PARA CRITERIOS TÉCNICOS	
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 papel en resmas. (\$/Tonelada)
Flexibilidad en Máquina-Equipo: Tiempos necesarios para realizar configuración en máquina de una referencia de producto a otra.	[Cuantitativo] Tiempos Improductivos o de Setup SMED tiempo necesario para realizar los cambios de alistamiento. (Horas/Semana)

Fuente: Los autores.

TABLA 14. Indicadores para Criterios Económicos.

INDICADORES PARA CRITERIOS ECONÓMICOS	
DESCRIPCIÓN	UNIDAD DE MEDIDA
Rentabilidad: VPN de los flujos de caja de los ingresos y los egresos	[Cuantitativo] Relacionando los flujos de caja futuros de los ingresos con la inversión realizada. (\$)

Fuente: Los autores.

Como resultados de este capítulo, se consiguieron definir los diferentes tipos de decisión de administración de capacidad que existen como alternativas de producción en los sistemas operativos, además de esto, se caracterizó tanto el sector como las etapas del proceso productivo del papel para así consolidar los diferentes criterios

estratégicos, técnicos y económicos con sus respectivos indicadores de medida en este tipo de decisiones que se presentan en cada una de las etapas de los procesos en el sector productivo del papel.

3. CAPITULO III. CARACTERIZACIÓN DE LAS OPCIONES REALES IMPLÍCITAS EN LAS DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD EN UNA EMPRESA DEL SECTOR PAPEL

En este Capítulo se escogerá y caracterizará uno de los diferentes tipos de opciones reales que permiten valorar una decisión. Para esto se realiza un análisis de los diferentes tipos de opciones reales implícitas en cada una de las decisiones de administración de capacidad identificadas en el Capítulo anterior (numeral 2.1.7), y así por medio de un experto del sector, seleccionar una de estas opciones reales implícitas en las decisiones de administración de capacidad. Luego de ser seleccionada se procede a identificar cada uno de sus componentes para realizar la correcta valoración de la opción por medio del método de árbol binomial, obteniendo el Valor Presente Neto del proyecto incluyendo el valor de la opción.

3.1 OPCIONES REALES

El análisis de opciones reales permite entender y sacar un mejor provecho de la incertidumbre al evaluar las múltiples alternativas que puede tener un proyecto en el futuro. Para dichos proyectos se hace necesario tanto el uso del análisis de flujos de caja como el de opciones reales, ya que el propósito básico de todo proyecto de inversión es la generación de flujos de efectivo y estos a su vez incorporan opciones de crecimiento, oportunidades de realizar futuras inversiones, oportunidades de abandonar algunas inversiones, oportunidades de aplazar algunas inversiones entre otras para lo cual el análisis de opciones reales es fundamental (Manotas y Manyoma, 2001).

Según Juan Mascareñas (2004) una opción “ofrece el derecho, pero no la obligación a realizar una operación determinada durante un periodo de tiempo prefijado” (Mascareñas, 2004., pág. 3). Un proyecto de inversión en administración de la capacidad visto como una opción de compra implica el derecho pero no la obligación de adquirir una serie de activos desembolsando una cierta suma de dinero en un cierto periodo de tiempo (Manotas y Manyoma, 2001).

Debido a que los proyectos en administración de la capacidad se plantean en términos de tiempo y costo, y además son difícilmente reversibles, es necesario considerar los diferentes tipos de opciones reales que se pueden tomar para valorar estos proyectos.

Ya que estos proyectos se definen como proyectos de inversión, se requiere analizar estos tipos de opciones desde un punto de vista financiero y real. Para esto Juan Mascareñas define una opción financiera como “aquellas cuyo activo subyacente es un activo financiero” (Mascareñas, 2004., pág. 5). También define las opciones reales como “aquellas cuyo activo subyacente es un activo real” (Mascareñas, 2004., pág. 5). Ambos tipos de opciones se definen en función de seis variables, las cuales se muestran en la Tabla 15:

TABLA 15. Variables de las Opciones Reales.

VARIABLE	OPCION FINANCIERA	OPCION REAL
El precio del activo subyacente (S)	Precio actual del activo financiero subyacente	Valor actual del activo real subyacente (Flujos de caja)
El precio de ejercicio (X)	Precio al que el propietario puede pagar por comprar o vender un activo financiero	Precio a pagar por hacerse con el activo real subyacente (Flujos de caja)
El tiempo hasta el vencimiento (t)	Tiempo que dispone su propietario para poder ejercer la opción	Tiempo que dispone su propietario para poder ejercer la opción
El riesgo o volatilidad (σ)	Indica la volatilidad de un activo subyacente, varianza o desviación típica de los rendimientos del activo subyacente	Indica la volatilidad de un activo subyacente, indica cuán equivocadas pueden estar nuestras estimaciones acerca del valor del activo subyacente
El tipo de interés sin riesgo (r_f)	Refleja el valor temporal del dinero	Refleja el valor temporal del dinero
Los dividendos (D)	Dinero líquido generado por el activo subyacente durante el tiempo que el propietario de la opción posee y no la ejerce	Dinero que genera el activo subyacente (o al que renuncia) mientras el propietario de aquélla no la ejerza.

Fuente: Adaptada de Mascareñas et al. 2004.

3.2 TIPOS DE OPCIONES REALES

Los tipos de opciones reales que presenta Mascareñas (2004) se clasifican en tres grupos como se muestra en la Tabla 16.

TABLA 16. Tipos de Opciones Reales

Tipos de Opciones Reales		
1. Diferir/ Aprender	Diferir	Proporciona el derecho a posponer su realización durante un plazo de tiempo determinado
	Aprendizaje	Proporciona la posibilidad de obtener información a cambio de un costo determinado
2. Inversión/ Crecimiento	Ampliar escala	Proporciona el derecho de adquirir una parte adicional del mismo a cambio de un costo adicional
	Intercambio	Proporciona el derecho a intercambiar productos, procesos o plantas dada una alteración favorable en el precio subyacente o en la demanda de factores o productos
	Ampliación de alcance	Permite apalancar un proyecto realizado en un sector determinado para que pueda ser utilizado además en otro sector relacionado
	Diversificación	Oferta nuevos productos y entra en nuevos mercados por la vía de las adquisiciones corporativas o invirtiendo directamente en nuevos negocios
3. Desinvertir/ Reducir	Reducir escala	Proporciona a su propietario el derecho a renunciar a una parte del mismo a cambio de un ahorro adicional de costos
	Intercambio	Permite adaptarse a una estructura de costos más liviana y a unos activos más flexibles para responder a un cambio adverso en la demanda
	Reducción de alcance	Permite reducir, e incluso abandonar, el alcance de las operaciones en un sector relacionado cuando el potencial de negocio se reduce o desaparece
	Abandono	Proporciona la posibilidad de vender, liquidar o abandonar un proyecto determinado
	Cierre temporal	Proporciona el derecho a abandonar de forma temporal la explotación de un proyecto de inversión
4. Otros	Alterar la escala de operaciones	Operar por encima o por debajo de la capacidad instalada dependiendo del mercado
	Compuestas	Son opciones sobre opciones

Fuente: Adaptado de Mascareñas et al (2004). Pag.61.

3.3 TIPO DE OPCIONES REALES IMPLÍCITAS EN LOS TIPOS DE DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD EN LAS ETAPAS DEL PROCESO PRODUCTIVO DEL SECTOR PAPEL

El tipo de opción real de diferir es más valiosa cuando la empresa tiene derechos exclusivos para invertir dado que se justifica la opción solo cuando el valor actual de los flujos de caja excede al valor actual del desembolso inicial por una cantidad igual al valor de la opción de diferirlo.

Por todo lo anterior esta opción de diferir no aplica al caso estudio, dado que la empresa no posee derechos exclusivos para producir resmas de papel, es decir, no existen barreras de entrada contra la competencia (una patente por ejemplo).

El tipo de opción de aprendizaje, no aplica al caso estudio dado que las resmas de papel no son un producto nuevo para la compañía y esta tiene cabida cuando la empresa mediante la inversión en una planta piloto puede acelerar la obtención de información relevante acerca de la demanda de un nuevo producto y rectificar o confirmar así sus expectativas acerca de los flujos previstos reduciendo de esta forma la incertidumbre a través de la inversión en la prueba piloto.

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

El tipo de opción de intercambio en inversión es aplicable a la hora de hacer cambio en las especificaciones de la producción de las resmillas de papel, dependiendo de la demanda del mercado.

El tipo de opción de ampliación del alcance no aplica dado que esta investigación está enfocada solo en el sector papel y esta opción consiste en apalancar un proyecto en este caso, realizado en el sector papel para que pueda ser utilizado además en un sector relacionado.

El tipo de opción de diversificación se puede disponer para aumentar el portafolio de productos, diversificando la variedad de los mismos utilizando la misma maquinaria y la misma materia prima, un ejemplo de esto puede ser la elaboración de otro tipo de papel para la elaboración de productos que utilicen el papel como materia prima. Ejemplo: vasos, cajas, empaques, panales de huevo, entre otros.

El tipo de opción de reducir la escala productiva aplica al caso estudio, en caso que la demanda esperada del pronóstico del 3% no se comportara según el pronóstico de crecimiento que se tiene, tendiendo a disminuir hasta desaparecer, se pensaría entonces en la reducción del proyecto de ampliación planteado, por medio de un proyecto de reducción que consistiría en la compra de una máquina más pequeña que permitiese ahorrarse los costos fijos que se tendrían si se produjeran con la grande, es decir, aplica en el caso de tener que elegir entre tecnologías con diferentes relaciones construcción-mantenimiento en cuanto a costos, por ejemplo de podría elegir una planta de bajo costo de construcción (costo fijo) pero alto costo de mantenimiento (costo variable), que permitiese la reducción de este último en caso que la demanda no respondiese adecuadamente. Esta contracción de la producción sólo se realizaría si la demanda descendiese suficientemente.

El tipo de opción de intercambio en la desinversión aunque no es muy aplicable, en el caso de serlo para el caso estudio se refleja en el momento en que producir ese tipo de resmillas de papel en otra planta de la compañía sea menos costoso y así intercambiar la producción de las resmas de papel a esta planta.

El tipo de opción de reducción del alcance

- **La opción de abandono** es aplicable a este proceso productivo ya que existe la posibilidad de vender, liquidar, cerrar (abandonar, en suma) en caso que las condiciones de mercado no sean favorables.
- **La opción de cierre temporal**, dado que en la industria del papel detener temporalmente la totalidad del proceso productivo implicaría una gran pérdida, esta opción no es aplicable.

El tipo de opción de alterar la escala de operaciones no es aplicable para el caso estudio, ya que operar por debajo de la capacidad instalada genera un exceso de capacidad inutilizable y desperdiciada, también el operar por encima de la capacidad instalada para producir solo resmas de papel puede generar conflictos en la programación de las operaciones, generando ordenes pendientes y retrasos en otras referencias de producto.

El tipo de opción con múltiples interacciones o compuesta, al ser una composición de varias opciones es muy aplicable, ya que puede darse el caso de reducir la capacidad productiva de dicho tipo de producto para diversificar en otro.

Con la anterior información y mediante el juicio del experto en el sector objeto de estudio, se establecieron las opciones pertinentes para este caso, arrojando los siguientes resultados (expuestos en la Tabla 17):

- ✓ Etapas del proceso productivo para las cuales aplica el tipo de decisión **común**, se denomina con la letra A.
- ✓ Etapas del proceso productivo para las cuales aplica el tipo de decisión **flexible**, se denomina con la letra B.
- ✓ Etapas del proceso productivo para las cuales aplica el tipo de decisión **intensivo en capital**, se denomina con la letra C.
- ✓ Etapas del proceso productivo para las cuales aplica el tipo de decisión **automatizado**, se denomina con la letra D.

De esta manera se identificó que los tipos de opciones reales que aplican a los tipos de administración de capacidad citados en la tabla 6 son de ampliación, intercambio, diversificación y reducción de alcance.

TABLA 17. Tipos de Opciones Reales implícitas en los Tipos de decisiones de Administración de Capacidad.

TIPOS DE OPCIONES REALES			DECISIONES DE ADMINISTRACIÓN DE LA CAPACIDAD PARA EMPRESAS DEL SECTOR PAPEL			
			A	B	C	D
Diferir/ Aprender	Diferir					
	Aprendizaje					
Inversión/ Crecimiento	Ampliar		X	X	X	X
	Intercambio		X	X	X	X
	Ampliación del alcance					
	Diversificación		X	X	X	X
Desinvertir/Reducir	Reducir		X	X	X	X
	Intercambio		X	X	X	X
	Reducción de alcance	Abandono	X	X	X	X
		Cierre temporal				
Otras	Alterar la escala de operaciones					
	Con múltiples iteraciones		X	X	X	X

Fuente: Los autores.

3.4 SELECCIÓN DE UN TIPO DE DECISIÓN DE ADMINISTRACIÓN DE CAPACIDAD Y OPCIÓN REAL

Para ilustrar el modelo propuesto de evaluación de proyectos estratégicos de administración de la capacidad, se optó por realizar un caso estudio en una empresa representativa del Valle del Cauca. Cuyos productos principales son cartulinas resistentes a la grasa, esmaltadas, no esmaltadas, papeles no esmaltados, de diferentes presentaciones como es en rollos o en resmas y con diferentes características como lo es el calibre, el gramaje, la blancura, entre otros.

Con base en el criterio del experto para esta investigación el tipo de decisión de administración de la capacidad seleccionado es “capacidad flexible” dado que la empresa maneja este tipo de decisión en su sistema de producción; y como opción real, la opción de ampliación en la capacidad de corte de resmas de papel debido al crecimiento esperado del 3% anual hasta el 2024 de la demanda de este producto según los pronósticos que tiene internamente la empresa caso estudio y la representatividad de este producto en el porcentaje de ingresos de la empresa.

De esta manera, el caso estudio consistirá en evaluar el proyecto de ampliación de la capacidad de corte en la línea productiva de resmas papel, esto con el objetivo de evaluar la decisión estratégica de ampliación de la capacidad para analizar su factibilidad y ejemplificar así el modelo de evaluación de proyectos de administración de la capacidad. En donde la primera etapa consiste en realizar una inversión inicial en la capacidad del proceso de corte de resmas de papel para ello requiere una inversión inicial de \$ 15.384.560.000 en la compra de una máquina de corte (Fase I) con una capacidad de 21.000 unidades, de esta manera, si la operación resulta exitosa, realizará una inversión suplementaria (Fase II) en una máquina de corte de 21.000 unidades adicionales, no arriesgándose así a un fracaso estrepitoso y alcanzar así la dimensión que considera adecuada. Se evaluará si es factible dicha inversión en crecimiento de capacidad o si otros factores alteran la toma de dicha decisión al resultar equivocada. Para tal fin es necesario realizar la investigación pertinente de algunos datos como lo son datos de demanda de las resmas de papel, maquinaria, estados de resultados de la compañía, etc.

3.4.1 Determinación de los componentes de la opción

La opción de crecimiento o de ampliar tiene como base una inversión inicial (proyecto base), en este caso consiste en la compra de una máquina de corte, esto permitirá crear infraestructura y oportunidades para una expansión posterior mediante una opción de ampliación (proyecto adicional) cuando el comportamiento futuro del mercado se

vuelva claramente favorable. Esta investigación está compuesta de dos fases, la Fase I consiste en el proyecto base y la Fase II en el proyecto adicional.

A partir de la posibilidad de invertir por etapas (Fase I y Fase II) de acuerdo al curso de los acontecimientos futuros, el proyecto base tiene una opción de compra sobre una parte adicional del proyecto base con las siguientes características:

Tipo de opción: Europea. Puesto que es necesario observar el desarrollo de la primera fase (prueba piloto) y esperar un determinado tiempo establecido para así poder decidir si se realiza la inversión adicional 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 prácticamente 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; estos son subastados por el Banco de la República y se caracterizan por ser una de las mayores fuentes de financiación del Gobierno. Para esta investigación se tomara un TES emitido el 14 de mayo del 2014 puesto que la inversión inicial (Fase I) se realizara a principios de este 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 (σ): 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 (σ) y la volatilidad (σ^2) de los rendimientos (Puentes, 2003).

Los 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.

3.4.2 Árboles binomiales

Para realizar la correspondiente valoración de la opción real se necesita de los componentes de la opción mencionados en el apartado 3.3. El método por el cual se decidió valorar este tipo de opción real es el método del Árbol Binomial.

Como se menciona en el apartado de *Flexibilidad Operativa y Opciones Reales*, los árboles binomiales muestra los posibles valores que puede tomar el proyecto de inversión o la decisión a evaluar por medio de árboles de decisión que involucra diversos escenarios en diferentes instantes de tiempo (Mascareñas et al. 2004).

Para explicar al lector la manera de operar de estos árboles binomiales en decisiones de inversión y así asegurar facilidad al momento de comprender el modelo de evaluación, se toma como referencia el ejemplo 3.4.2 de Opciones de Crecimiento o de Ampliar un Proyecto del Libro *Opciones reales y valoración de activos* de Juan Mascareñas (2004) Páginas 73 a la 76.

4. CAPITULO IV. INTEGRACIÓN DE LOS CRITERIOS Y EL ANÁLISIS DE OPCIONES REALES MEDIANTE CASO ESTUDIO

Consolidando toda la información obtenida en los anteriores capítulos, en este apartado se procede a ilustrar el modelo de evaluación de estas decisiones de administración de capacidad mediante el caso estudio, en donde se detalla el proceso realizado y finalmente se analizan los resultados obtenidos.

4.1 CASO ESTUDIO

4.1.1 Supuestos de proyección

- **Inversión**

Se proyectan dos inversiones correspondientes a la Fase I y Fase II, por US\$8.000.000 y US\$ 9.274.193 respectivamente, el valor de la primera inversión fue suministrado por la empresa e incluye todo los gastos necesarios para ponerla en marcha y para el segundo se tomó como base la primera inversión proyectándose con la inflación americana para el año 2019 en el cual se realizara la segunda Fase II.

- **Ingresos**

La fuente de ingresos a proyectar son los ingresos por la demanda marginal de resmas de papel que supliría esta capacidad adicional para los próximos 10 años dada en toneladas anuales teniendo una capacidad actual de 110.000 toneladas anuales y un crecimiento anual de 3%, proyección de crecimiento que tiene la empresa. El precio actual de una tonelada de resma de papel es \$2.100.000 el cual se proyectó con el incremento de la inflación. Dando origen el incremento de ingresos por inflación y a la variación positiva de la demanda.

- **Costos operacionales**

Calculado como el porcentaje del costo unitario sobre el precio unitario del producto. Con los datos históricos suministrados por la empresa se observó un comportamiento descendiente de este ajeno al proyecto de inversión objeto de estudio, con dicha información no fue posible desagregar dicho costo y establecer factores de incertidumbre. Luego con base a los datos históricos suministrados, al estudio hecho

del sector y a la experiencia del experto se concluyó una desviación para el costo operacional base de 2 y -2%, variación aplicada a las ventas marginales dando como resultado los costos operacionales para cada año. Se tomó como base el costo operacional del año 2014 dado que era el único con el que se contó para el estudio.

- **Gastos de ventas**

Los gastos de ventas incluyen los salarios del personal de ventas, publicidad, mercadeo, gastos de distribución (fletes), comisiones y bonificaciones. Para la proyección de los gastos de ventas se tomó los estados de resultados de la compañía y se calculó el porcentaje que representan estos de las ventas, de los últimos tres años por ser los más representativos de la situación actual de la compañía, para luego calcular un promedio que se aplicó a los ingresos marginales de cada año, que satisfecerá la capacidad adicional, dando como resultado los gastos de ventas.

- **Gastos de administración**

Los gastos de administración se tomaron como cero debido a que las ventas marginales resultado del proyecto de inversión no representan gastos adicionales de personal administrativo, servicios públicos, ni ningún otro gasto que tenga que ver con las oficinas de la compañía.

- **Depreciación**

La depreciación se causa pero no es una salida de efectivo, su cálculo se realiza en línea recta o forma lineal con respecto a 10 años que es el tiempo para depreciar maquinaria.

- **Impuestos**

Se tomaron del 33% dato suministrado por personal contable de la compañía.

- **Capital de trabajo**

Conceptualmente corresponde a la cantidad de capital neto que se debe mantener dentro del negocio para que este funcione. Un cambio en el capital de trabajo impacta directamente la generación de flujo de caja. Para su cálculo se tomó el porcentaje que

corresponden el capital de trabajo de los gastos de ventas y los costos operacionales, de los últimos 3 años de los estados financieros de la compañía, y con ellos se calculó un promedio que se aplicó a la suma de los costos operacionales y gastos de ventas de cada año proyectado, para obtener así los requerimientos del capital de trabajo.

MACROECONÓMICOS

- **Inflación**

Se proyectó una inflación colombiana de 3% para los años de proyección, dado que la Junta Directiva del Banco de la República definió una meta de inflación del 3% de largo plazo con un rango de +/- 1 pp y reitero que las acciones de política monetaria continuarán dirigidas a que la inflación converja a dicho valor. Y al observar los datos históricos de la inflación Colombiana se observa que dicha política se ha cumplido en los últimos años dado que las variaciones se han mantenido en ese rango.

Aunque la Fed (Federal Open Market Committee) de la reserva federal de los Estados Unidos tiene como política monetaria una inflación del 2%, la inflación americana se proyecta como 3% hasta el 2019 para la inversión en la fase II en esta investigación, dado que al observar las variaciones históricas de dicha inflación en los últimos años se observa que la mayoría de variaciones se han mantenido en un rango del 3%.

4.1.2 Definición de variables entradas del modelo

Se tomaron como entradas del modelo:

- ✓ La **demanda (2014)** de resmas de papel.
- ✓ La **variación anual** de la demanda de resmas de papel.
- ✓ **Costos operacionales**
- ✓ **Capital de trabajo**
- ✓ **TMR (2019)**

TABLA 18. Variables de entrada del modelo.

ENTRADAS	DISTRIBUCIÓN	EXPLICACIÓN
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 de este año 2014 del 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	Con los datos históricos suministrados por la empresa de los últimos cinco años se ajustaron dando como resultado la distribución Beta General.
TMR (2019)	Beta General	Con los datos históricos de la TMR anual promedio tomados de la página oficial del banco de la república se ajustaron dando como resultado la distribución Beta General.

Fuente: Los autores.

Y como salidas del modelo:

- ✓ La Tasa Interna de Retorno
- ✓ El Valor Presente Neto
- ✓ El Valor Presente
- ✓ Rendimiento del proyecto (z)
- ✓ VP(2015)
- ✓ FC(2015)
- ✓ Inversión Fase II (2019)
- ✓ Valor de continuidad (2019)

4.2 VALORACIÓN DEL MODELO SIN CONTEMPLAR LA OPCIÓN REAL

Después de tener los parámetros y variables de entradas para el modelo de evaluación, se procederá a valorar el proyecto sin opción real bajo el enfoque del flujo de caja descontado, para esto se utilizó la forma del Costo Promedio Ponderado de Capital (WACC por sus siglas en Inglés) como tasa de descuento calculado con la siguiente fórmula (Tenorio & Mena 2013):

(4.3.2.1)

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

En donde Kd es el costo de la deuda, que para este proyecto es de 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 corporativo en un lapso de tiempo entre 3 y 5 años. Y la razón (D+/D+E) se obtuvo del sitio web Damodaran para países emergentes.

Ke es el costo de patrimonio calculado a partir de la siguiente fórmula (Tenorio & Mena 2013):

(4.3.2.2)

$$Ke = rf + \beta * (rm - rf)$$

En donde,

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

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

β : es igual a 0,95 para la empresa objeto de estudio, valor consultado en el sitio web del Grupo Gia.

De esta manera se obtiene:

Un $K_e = 8,1\%$ y $WACC = 6,6\%$ para el modelo determinístico. Este valor se asume constante para todos los años. En la Tabla 19, se muestra el VPN del flujo de caja libre del modelo determinístico (ver Anexo C).

TABLA 19. VPN del modelo determinístico.

	Modelo determinístico de valoración
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

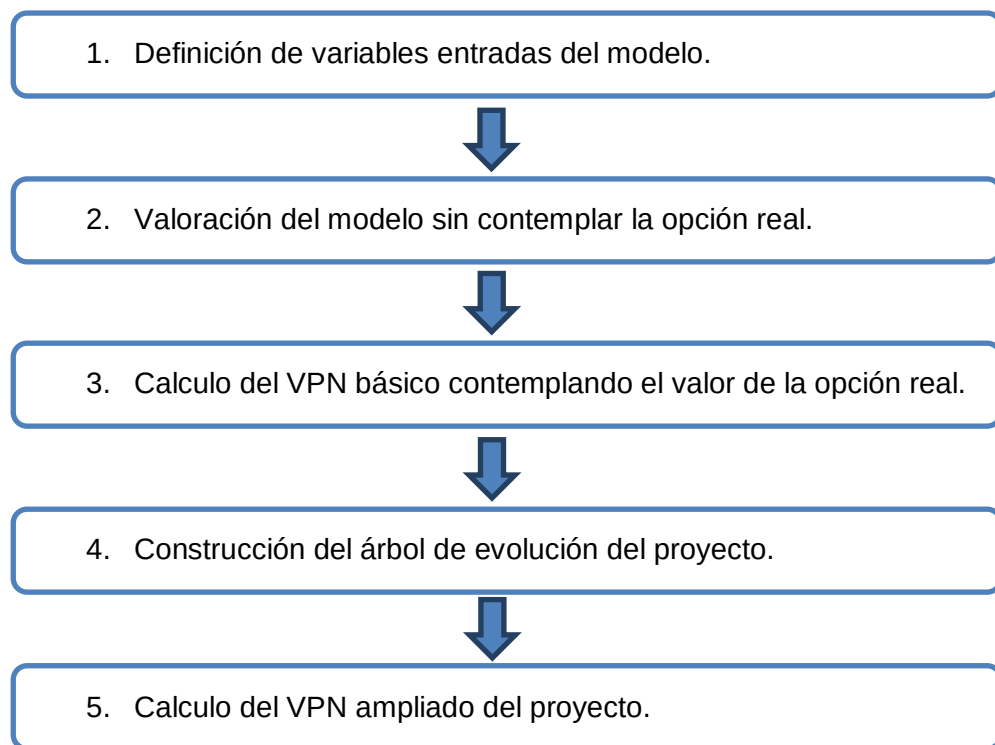
Fuente: Los autores.

4.3 VALORIZACIÓN DEL PROYECTO DE INVERSIÓN MEDIANTE LA TÉCNICA DE ANÁLISIS DE OPCIONES REALES

En este apartado se realizará la valorización del proyecto con opción real y se compara con la valorización del proyecto sin opción real.

La evaluación de este proyecto de inversión se llevara a cabo mediante la aplicación de la metodología planteada en la Figura 3.

FIGURA 3. Metodología de la Evaluación del Proyecto.



Fuente: Rey & Agudelo, 2008. Pag.59.

4.3.1 Volatilidad Implícita

“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 & Palacios, 2013. Pág. 54).

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 fórmula 4.3.2.3

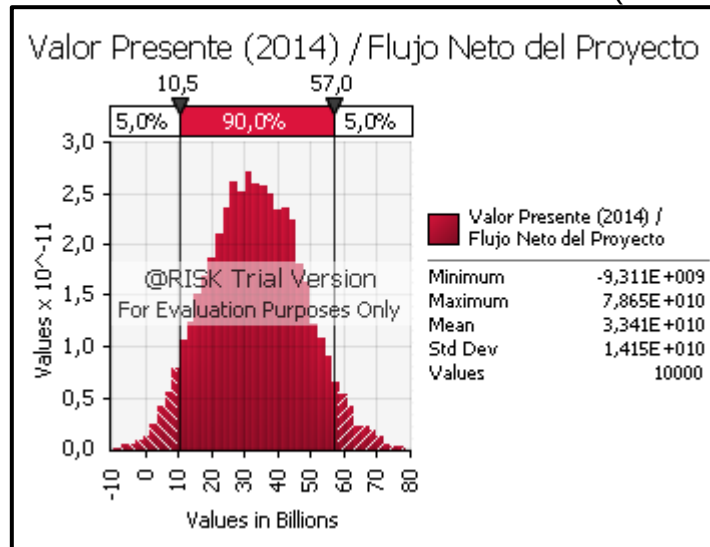
$$Z = \ln \frac{VP1+FC1}{PV0} \quad (4.3.2.3)$$

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 de tiempo 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 & Palacios, 2013. Pág. 54).

4.3.2 Simulación Montecarlo del Modelo

Se realizó una simulación de 10.000 iteraciones con el software @Risk al modelo teniendo como variables de entrada las mencionadas anteriormente para los 5 años de evaluación de la inversión en la Fase I. Las variables de entrada escogidas presentan gran incertidumbre dada su variabilidad e influyen notablemente en las variables de salida: Valor Presente (VP), Valor Presente Neto (VPN), Rendimiento del proyecto (Z), Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente de los flujos de caja en el 2015 (VFC 2015), Flujo de Caja en el 2015 (FC 2015) e inversión en la Fase II (2019).

FIGURA 4. Simulación Montecarlo del VP (5 años)



Fuente: Software @Risk.

TABLA 20. Resultados Estadísticos VP

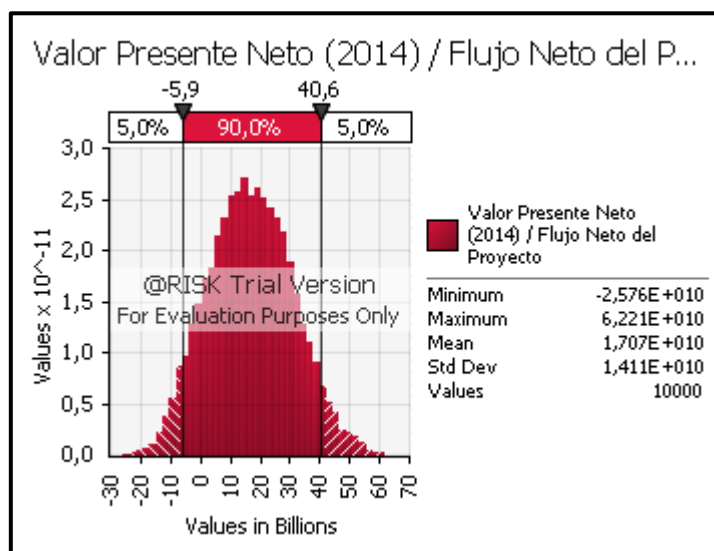
Nombre Descripción Celda	Valor Presente (2014) / %
Mínimo	(\$ 9.310.620.377,93)
Máximo	\$ 78.645.095.649,13
Media	\$ 33.413.993.209,75
Desviación est	\$ 14.151.290.346,65
Asimetría	0,092230601
Curtosis	2,645714982
Mediana	\$ 33.150.231.459,56
Moda	\$ 26.871.299.331,62
Errores	0

Fuente: Software @Risk.

En el reporte de la simulación anterior se observa que la variable de salida VP presenta una media \$ 33.413.993.210, un valor mínimo de (\$ 9.310.620.378) y máximo de \$ 78.645.095.650. Con una distribución platicúrtica, es decir, los ingresos presentes del proyecto de inversión en la fase I están concentrados alrededor de la media. Y una asimetría positiva lo que quiere decir que tiende a tomar valores positivos. El 95% de

los datos para los ingresos para la fase I están por debajo de \$ 57.003.430.000 (ver anexo D).

FIGURA 5. Simulación Montecarlo del VPN (5 años)



Fuente: Software @Risk

TABLA 21. Resultados Estadísticos VPN

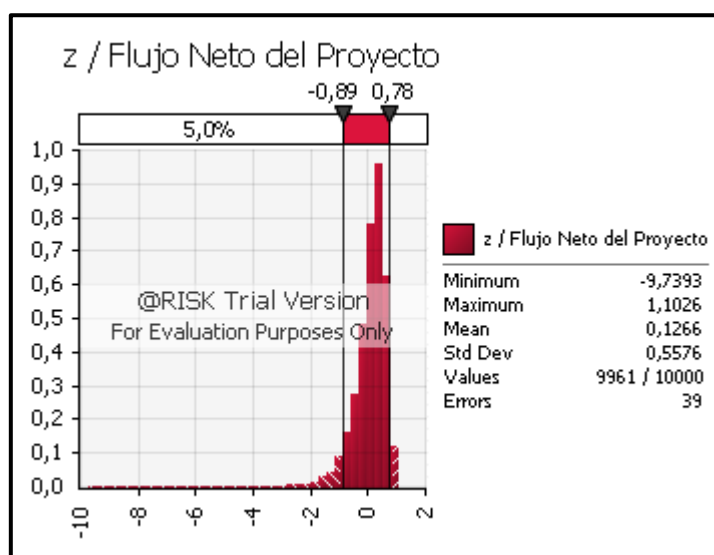
Nombre Descripción Celda	Valor Presente Neto (2014) / %
Mínimo	(\$ 25.755.631.554)
Máximo	\$ 62.208.510.381
Media	\$ 17.074.650.979
Desviación est	\$ 14.113.305.802
Asimetría	0,095110193
Curtosis	2,637446013
Mediana	\$ 16.771.136.724
Moda	\$ 16.619.065.822
Errores	0

Fuente: Software @Risk

En el reporte de la simulación anterior se observa que la variable de salida VPN presenta 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 positivos. El percentil 95 indica que el 95% de los valores para el Valor Presente Neto se encuentran por debajo de \$ 40.614.700.000 (ver anexo D).

FIGURA 6. Simulación Montecarlo de la Z (5 años)



Fuente: Software @Risk

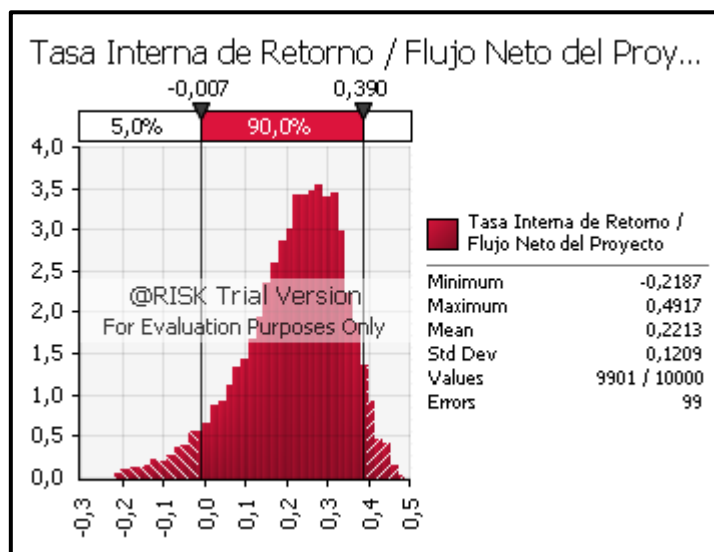
TABLA 22. Resultados Estadísticos Z

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

Fuente: Software @Risk.

En el reporte de la simulación anterior se observa que la variable de salida Z presenta una media 0,13, un valor mínimo de -9,74 y máximo de 1,10. Con una distribución leptocúrtica, es decir, una distribución de colas pesadas donde existe mayor probabilidad de encontrar valores extremos y con una asimetría negativa, en otras palabras, los valores tienden a tomar valores extremos negativos. El percentil 95 indica que el 95% de los datos para la rentabilidad del proyecto están por debajo de 0,78 (ver anexo D).

FIGURA 7. Simulación Montecarlo de la TIR (5 años)



Fuente: Software @Risk.

TABLA 23. Resultados Estadísticos TIR

Nombre Descripción Celda	Tasa Interna de Retorno /%
Mínimo	-21,87%
Máximo	49,17%
Media	22,13%
Desviación est	12,09%
Asimetría	-0,71
Curtosis	3,38

Mediana	23,78%
Moda	30,27%
Errores	99

Fuente: Software @Risk

En el reporte de la simulación anterior se observa que la variable de salida TIR presenta una media 22,13% un valor mínimo de -21,87% y máximo de 49,17%. Con una distribución leptocúrtica, es decir, existe una alta probabilidad de valores extremos con una asimetría negativa. El percentil 95 indica que el 95% de los datos de la TIR están por debajo de 38,99% (ver anexo D).

4.3.3 Cálculo del VPN básico contemplando el valor de la opción real (Árbol Binomial)

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 en la Tabla 24, y así obtener los factores U, D, rf y p necesarios para la realización del árbol binomial.

Los datos a tener en cuenta que se muestran en la Tabla 24 son: La inversión inicial en la Fase I que es de \$ 15.384.560.000, la inversión que se llevaría a cabo si se requiere de la ampliación que equivale a \$ 18.246.570.000, el Valor Actual (VA0) sin contemplar la opción de ampliación que se obtuvo de la Simulación Montecarlo equivalente a \$ 33.413.990.000, la Volatilidad (σ) que es la desviación del rendimiento Z del proyecto también simulada en 55,76%, la rf que es la tasa del activo libre de riesgo, la cual se considera en un 6,27% de acuerdo a la emisión de título TES a 10 años con vencimiento a mayo de 2024, y por último el Valor Adicional (X) que se supone en un 20,3% debido a la proporción en la que aumenta la Media del Valor Presente en la Simulación Montecarlo.

El modelo parte del Valor Actual en el año cero, el cual aumenta o decrece su valor de acuerdo a su coeficiente al Alza (U) o a la Baja (D), el cálculo de estos coeficientes se calculan con las siguientes fórmulas (Mascareñas 2004):

$$U = e^{(\sigma\sqrt{\Delta t})} \quad t=1 \quad (4.2.4.1)$$

$$D = 1/U$$

(4.2.4.2)

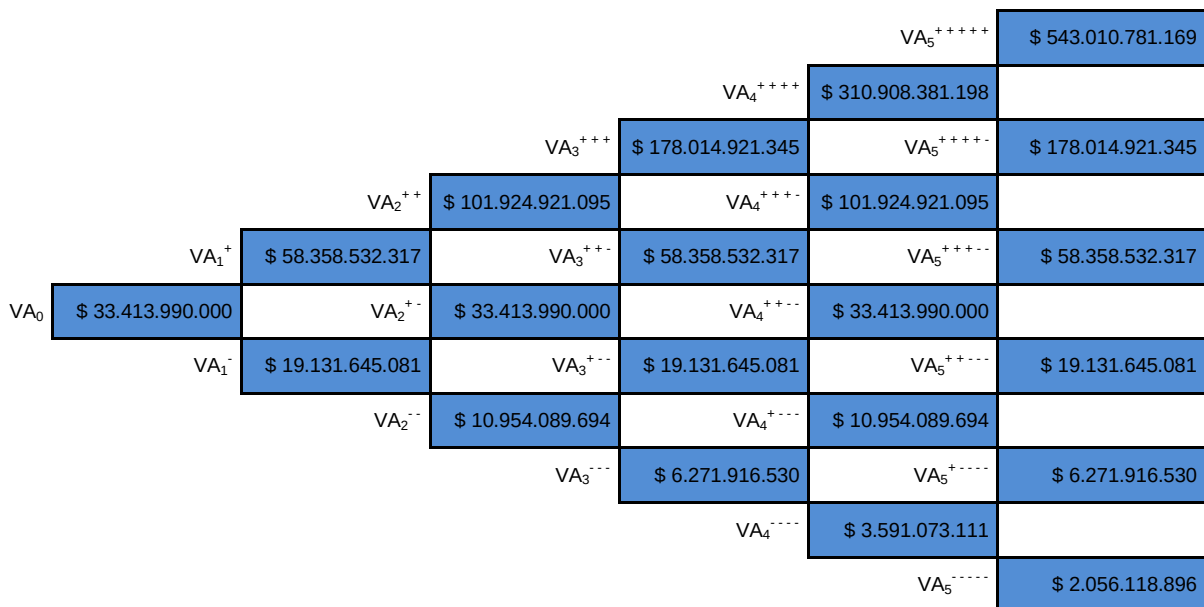
Una vez calculados los coeficientes U y D, se procede a realizar el árbol binomial ilustrado en la Figura 9, este árbol de decisión se realiza a 5 años, tiempo estimado en el cual se evaluará la decisión de ampliación. En este se hallan los valores que toma el Valor presente en cada año con respecto a los valores al alza o a la baja.

TABLA 24. Información para el árbol binomial.

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

Fuente: Los autores.

FIGURA 8. Árbol Binomial del Proyecto



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 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. Con la Fórmula 4.2.4.3 se halla el valor del proyecto ampliado en el año 5 de las diferentes ramas del árbol, que se muestran en la Figura 9.

$$E_5 = VA_5 + \text{Máx} [(1+X) VA_5 - \text{Inversión Ampliación}; 0] \quad (4.2.4.3)$$

Luego se procede a calcular las probabilidades neutrales al riesgo de que exista un alza o una baja en el valor, las cuales son representadas por la letra p y q y calculadas por las fórmulas 4.2.4.4 y 4.2.4.5 respectivamente.

$$p = \frac{(1+rf) - D}{U - D} \quad (4.2.4.4)$$

$$q = 1 - p \quad (4.2.4.5)$$

Seguidamente con las probabilidades neutrales al riesgo se hallan los valores del proyecto en los diferentes años, iniciando el cálculo desde el año 5 hasta el año 0. Este cálculo se realiza mediante la fórmula 4.2.4.6. Obteniendo así el valor del proyecto ampliado como se muestra en la Figura 10.

$$E_0 = [(E_1^+ \times p) + (E_1^- \times q)] / (rf + 1) \quad (4.2.4.6)$$

FIGURA 9. Valor del Proyecto Ampliado

						E_5^{+++++}	\$ 1.177.773.947.120	
					E_4^{++++}	\$ 667.660.556.748		
			E_3^{+++}	\$ 375.994.636.868		E_5^{+++++}	\$ 373.844.168.648	
		E_2^{++}	\$ 209.379.145.724		E_4^{++++}	\$ 207.359.371.782		
	E_1^{+}	\$ 115.287.559.079		E_3^{+++}	\$ 112.442.786.252		E_5^{+++++}	\$ 110.292.318.031
E_0	\$ 47.503.704.371		E_2^{++}	\$ 60.216.299.243		E_4^{++++}	\$ 56.459.091.201	
	E_1^{-}	\$ 32.072.752.612		E_3^{++-}	\$ 29.227.827.986		E_5^{++---}	\$ 23.892.261.928
		E_2^{--}	\$ 15.331.915.742		E_4^{+---}	\$ 12.828.519.469		
			E_3^{---}	\$ 7.009.948.405		E_5^{+----}	\$ 6.271.916.530	
				E_4^{----}	\$ 3.591.073.111			
					E_5^{-----}		\$ 2.056.118.896	

Una vez obtenido el valor del proyecto ampliado E_0 , se halla el valor de la opción a partir de la fórmula 4.2.4.7.

$$\text{Opción de Ampliar} = \text{VPN Ampliado} - \text{VPN Simulado} \quad (4.2.4.7)$$

$$\text{VPN Simulado (sin opción)} = \$ 18.029.430.000,00$$

$$\text{VPN Ampliado (con opción)} = \$ 47.503.704.371$$

$$\text{Opción de Ampliar} = \$ 29.474.274.371,48$$

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 de ampliar 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 utilizara la ponderación otorgada por el experto del sector.

4.4 INTEGRACIÓN DE LOS CRITERIOS Y EL ANÁLISIS DE OPCIONES REALES

4.4.1 Definición de los valores de los indicadores

Una vez obtenido el Valor del Indicador Económico, se procede a consolidar el valor de los demás indicadores en la Tabla 24 junto al indicador de Rentabilidad. Estos demás datos son hallados con la ayuda de información del experto.

$$\% \text{Variación Demanda} = \frac{(\text{Demanda anterior} - \text{Demanda actual})}{\text{Demanda actual}}$$

$$\text{Estándar de Producción} = \frac{\text{Producción diaria}}{\text{Horas por día}}$$

$$\text{Pico de Capacidad de Pn Total} = \text{Capacidad de producción de resmas}$$

$$\text{Horas máquina Productiva Resmas} = \frac{\text{Horas por día}}{\text{Producción diaria}}$$

$$\text{Costo Unitario de Resmas} = \frac{\text{Costo unitario}}{\text{volumen de producción}}$$

$$\text{Tiempos Setup} = \frac{\text{Tiempo de Cuadre}}{\text{Semana}}$$

VPN = Valor Presente Neto de la Opción

4.4.2 Normalización de los criterios

La normalización de los criterios de decisión es necesaria ya que en este contexto las unidades de los indicadores con los que están medidos los diferentes criterios son diferentes. Además, se tiene en cuenta que en muchas decisiones multicriterio estos valores sin una normalización previa pueden conducir a soluciones sesgadas (Romero, 1996).

Según Carlos Romero (1996) en su libro *Análisis de las decisiones multicriterio*, uno de los métodos más simples consiste en dividir los valores del criterio por su mejor valor, ya sea el mayor o el menor valor según sea el caso.

Otra forma de normalización es dividir cada valor del criterio por la diferencia del mayor valor con el menor valor del mismo criterio (Romero, 1996).

Una tercera forma de normalización es al mayor valor restarle el valor de cada criterio y posteriormente dividirlo por la diferencia del mayor valor con el menor valor del mismo criterio (Romero, 1996).

De esta forma se puede conseguir trabajar con diferentes criterios los cuales pueden estar medidos por diferentes unidades. Para efectos de este trabajo de grado, se optará por normalizar los criterios de la segunda forma mencionada, dividiendo cada criterio por la diferencia entre su mayor y menor valor.

4.4.3 Scoring

Es necesario dar una valoración ponderada a los diferentes criterios mencionados en la Tabla 11, esta ponderación se realizó con base en la información suministrada por el experto consultado en el sector productivo, la cual se muestra en la Tabla 25, para luego ser utilizada dicha ponderación en el método multicriterio escogido.

La herramienta a escoger para este trabajo de grado, es la herramienta *Scoring*, la cual 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 et al. 2005).

El Scoring permite abordar situaciones de incertidumbre o con modestos niveles de información, y que consiste en construir una función de valor para cada alternativa. El método de Ponderación Lineal supone la transitividad de preferencias o la comparabilidad. Es un método intuitivo y sencillo de utilizar y, por ello, ampliamente difundido (Martínez, 1997).

El Scoring además puede relacionarse con el promedio ponderado, al ser una media aritmética ponderada, es el promedio de datos a los que se les asigna distinta importancia llamada ponderación (INEI, 2006).

TABLA 25. Ponderación de los criterios de administración de capacidad.

CRITERIOS	% PARTICIPACIÓN	% PONDERACIÓN	JUSTIFICACIÓN EXPERTO
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 que 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-equipos	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.

Es así como en este Capítulo se caracterizó los diferentes tipos de opciones reales que permiten valorar una decisión de capacidad y se analizó dichas opciones en cada una de las decisiones de administración de capacidad conseguidas en el Capítulo anterior, y así por medio de un experto que posee información verídica y confiable del sector, se seleccionó una de estas opciones reales implícitas en las decisiones de administración de capacidad con sus respectivos componentes para realizar la correcta valoración de la opción por medio del método de árbol binomial, obteniendo el Valor Presente Neto del proyecto. Seguidamente se toma el VPN junto con los demás criterios y se realiza una normalización de los datos para así aplicar la herramienta Scoring, en donde la

ponderación es otorgada por el experto de la empresa del sector en cuestión para obtener como resultado la valoración de la decisión de capacidad.

Teniendo los valores de estos 7 indicadores consolidados en la Tabla 26, se procede a realizar la normalización de estos datos; esta normalización se realiza mediante la fórmula 4.2.6.1, esto con el fin de adimensionar dichos indicadores ya que cada uno presentan unidades de medida distinta y poder realizar la correcta ponderación de los criterios Estratégicos, Técnicos y Económicos que mayor impactan en este tipo de decisiones de Administración de Capacidad.

$$Criterio\ n = \frac{Criterio\ n}{(Máximo-Mínimo)} \quad (4.2.6.1)$$

Adicionalmente se realiza el Scoring de dichos Criterios ya normalizados teniendo en cuenta su ponderación, la cual se encuentra consolidada en la Tabla 18, este Scoring se realiza multiplicando el Valor del Indicador por su ponderación.

Tanto la Normalización y el Scoring de los criterios, se encuentran evidenciados en la Tabla 27.

TABLA 26. Definición de los Valores de los Indicadores

Criterio		Indicador	Unidades	Valor Sin Opción	Valor Con Opción
Estratégicos	Cambios de Mercado	Tasa de Variación porcentual de la demanda de resmas de papel	Cualitativo	3	5
	Cambios Tecnológicos	Estándar de Producción	Cualitativo	4	5
Técnicos	Capacidad Instalada	Pico de Capacidad de producción total	toneladas/año	110.000,00	131.000,00
	Capacidad Utilizada	Horas máquina productiva para fabricar resmas de papel	hora/tonelada	0,0828	0,0578
	Flexibilidad en Volumen	Costo unitario de producción de resmas de papel	\$/tonelada	1.650.000,00	1.912.802,22
	Flexibilidad en Máquina - Equipo	Tiempos Setup o cuadro de la máquina cortadora	horas/semana	6,00	9,00
Económico	Rentabilidad	VPN	\$	18.029.430.000,00	47.503.704.371,48

Fuente: Los autores.

TABLA 27. Normalización de los Valores de los Criterios y Scoring.

		NORMALIZADOS		PONDERACIÓN	VALORIZADOS	
Criterio		Valor Sin Opción	Valor Con 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.

4.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la tabla 27 se muestra el modelo por medio del cual se logra la integración de todos los criterios- técnico, estratégico y económico- y arroja la valoración del proyecto con opción y sin opción, el mayor valor representa la mejor alternativa abarcando 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 en 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 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 de los 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 a la valoración realizada mediante el método del árbol binomial.

Según los resultados arrojados por @Risk las variables que mayor influencia tienen en la volatilidad del rendimiento del proyecto son el costo de venta y el capital de trabajo, dado que las empresas del sector requieren alta inversión en capital para el funcionamiento normal de sus operaciones, estas variables hacen a su vez que el proyecto sea factible o no y la variabilidad del rendimiento del proyecto se alta o no (Ver anexo E).

5. CONCLUSIONES

En el contexto de las decisiones de administración de capacidad, se encontraron numerosas referencias en las cuales mencionan diferentes tipos de capacidad, unas más estratégicas y otras más operativas, de las cuales se tomaron partida para identificar los criterios en este tipo de decisiones y encontrar la mejor combinación para el modelo planteado en este trabajo de grado.

En la búsqueda de criterios a tener en cuenta para valorar dicha decisión de administración de capacidad, se encontraron numerosas fuentes, de 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, dando cumplimiento al primer objetivo de determinar las decisiones de administración de capacidad con el fin de identificar criterios a tener en cuenta al momento de evaluar este tipo de decisiones.

La ayuda del experto fue fundamental para la construcción y validación del modelo, ya que con base en la experiencia que tiene en el sector, permite reflejar tanto la realidad presente como la realidad futura que se presenta en dicho sector y de esta manera caracterizar las opciones reales implícitas en las decisiones de administración de la capacidad en una empresa del sector papel. Además de conocimientos en el sector, también fue esencial para incorporar conocimientos prácticos de ingeniería y lograr empalmar dicha práctica con la teoría vista en la carrera.

El proyecto de inversión se evaluó inicialmente sin considerar la opción de ampliación desde la metodología tradicional del Valor Presente Neto dando como resultado un valor positivo, lo cual lo hace viable, adicionalmente al considerarse la opción de ampliación y evaluarse por medio de la Teoría de Opciones Reales este se torna más viable. De lo cual se puede concluir que las metodologías de valoración tradicional no son aptas para la evaluación de proyectos que poseen una flexibilidad operativa y oportunidades de crecimiento contingentes, dado que considera a los proyectos en un marco estático en el tiempo cuando en realidad se manejan bajo un ambiente incierto y

de continuo cambio al cual las compañías deben responder de forma dinámica, lo cual da cabida a que proyectos evaluados hoy con las condiciones actuales del mercado sean subvalorados.

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 estrategias de administración de la capacidad en el sector papel, ya que agrupa todos los criterios a tener en cuenta –financiero, estratégico y técnico- para evaluar este tipo de decisiones, por ende se concluye que este tipo de análisis de opciones reales e integración de criterios mediante el caso estudio es de vital importancia en la toma de decisiones estratégicas para las industrias en un entorno competitivo.

ANEXOS

ANEXO A. Criterios de decisión de Autores consultados STAM Y KUULA (1991)

CRITERIO	COMPONENTES
Costos de Inversión	Máquinas
	Plataforma e Instalaciones
	Transporte
	Almacenamiento y manejo de materiales
	Herramientas
	Software
	Planeación
	Entrenamiento
Capacidad	Capacidad Planeada
	Capacidad Reservada
Flexibilidad	Familia de Partes
	Complejidad de las partes
	Tamaño de lote
	Tiempo de Procesamiento
	Potencial Futuro
	Ruta
Tasa de Utilización	Tiempo Productivo
	Tiempo no Productivo
	Cambios en el uso
	Factores operacionales y organizacionales
	Programación de la Producción
Costos Unitarios	Costos laborales
	Costo de Capital
	Mantenimiento y Reparación
Riesgo Económico	Cambios en el mercado
	Cambios tecnológicos
	Problemas operacionales relacionados con el exceso de Capacidad

Fuente: Los autores.

SHANG Y SUEYOSHI (1995)

CRITERIO	COMPONENTES
Flexibilidad	Economías de escala
	Capacidad reservada
	Adaptación a los cambios de diseño
Aprendizaje	Experiencia y experticia
	Ventaja Competitiva
	Líder en nuevas tecnologías
Incremento de Capacidad	Herramienta adicional
	Ahorros en inversiones futuras
	Introducción de nuevos productos
Exposición al malestar laboral	Grado de presión sindical directa
	Grado de presión sindical indirecta

Fuente: Los autores.

CHANG, JIANG Y TANG (2000)

CRITERIO	COMPONENTES
Mantenimiento	Instalaciones
	Costo de instalación
	Costo operacional
Productividad	Tasa de producción
	Producción total
	Tiempo de espera
	Inventario
Flexibilidad	Utilidad de la máquina
	Tipo de pieza
	Máquina
	Proceso
	Producto
	Enrutamiento
	Expansión
	Operación
Tiempo de construcción	Transferencia
	Tiempo planeado
Riesgo de construcción	Tiempo de aplicación
	Riesgo técnico
	Riesgo operacional

Fuente: Los autores.

MANYOMA (2011)

CRITERIO	GRUPO	COMPONENTES
Técnico	Factor humano	Perfiles requeridos
		Conocimiento necesario sistema a emplear
	Capacidades	Capacidad teoría instalada
		Capacidad real utilizada
		Que juntas permiten medir la rigidez
		Que juntas permiten medir la flexibilidad del sistema
	Flexibilidades	Volumen
		Producto
		Máquina-equipo
		Herramientas
		Manejo de materiales
	Flexibilidades	Laboral
		Programación de operaciones-procesos
		Ruta (re-ruteo)
		Expansión
		Materiales
		Tiempos de entrega
		Alcance con el proveedor
Externalidades	Cambios externos al sistema	Cambios de producto
		Cambios de mercado
		Cambios tecnológicos
Económico	Inversiones	Inversiones
		Capital de trabajo necesario
	Costos de operación	Costos variables
		Costos fijos
		Costos relacionados con el cambio
		Costos conocidos (set-up)
	Beneficios	Precio del producto
		Número de unidades producidas

Fuente: Los autores.

ANEXO B. Ranking de los criterios de decisión.

	Criterio	Grupo	Subcriterio
1	Económico	Beneficios	Rentabilidad
2	Externalidades	Cambios externos al sistema	Cambios de mercado
3	Externalidades	Cambios externos al sistema	Cambios tecnológicos
4	Técnico	Capacidades	Capacidad real utilizada
5	Técnico	Flexibilidades	Volumen
6	Técnico	Flexibilidades	Máquina-equipos
7	Técnico	Capacidades	Capacidad teoría instalada
8	Económico	Inversiones	Inversiones
9	Económico	Inversiones	Capital de trabajo necesario
10	Económico	Costos de operación	Costos variables
11	Técnico	Flexibilidades	Producto
12	Técnico	Flexibilidades	Laboral
13	Económico	Costos de operación	Costos fijos
14	Económico	Costos de operación	Costos relacionados con el cambio
15	Económico	Costos de operación	Costos conocidos (set-up)
16	Externalidades	Cambios externos al sistema	Cambios de producto
17	Técnico	Capacidades	Que juntas permiten medir la rigidez
18	Técnico	Capacidades	Que juntas permiten medir la flexibilidad del sistema
19	Técnico	Flexibilidades	Herramientas
20	Técnico	Flexibilidades	Manejo de materiales
21	Técnico	Flexibilidades	Programación de operaciones-procesos
22	Técnico	Flexibilidades	Ruta (re-ruteo)
23	Técnico	Flexibilidades	Expansión
24	Técnico	Flexibilidades	Materiales
25	Técnico	Flexibilidades	Tiempos de entrega
26	Técnico	Flexibilidades	Alcance con el proveedor
27	Técnico	Factor humano	Perfiles requeridos
28	Técnico	Factor humano	Conocimiento necesario sistema a emplear

ANEXO C. Flujo de caja libre del modelo determinístico.

	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Ventas		\$ 7.808.494.890	\$ 15.636.069.229	\$ 24.160.903.955	\$ 33.432.079.059	\$ 43.501.862.009
Costos operacionales		\$ 6.135.245.985	\$ 12.285.482.965	\$ 18.983.567.393	\$ 26.268.062.118	\$ 34.180.034.435
Utilidad Bruta		\$ 1.673.248.905	\$ 3.350.586.263	\$ 5.177.336.562	\$ 7.164.016.941	\$ 9.321.827.573
Gastos de administración		0	0	0	0	0
Gastos de ventas		\$ 317.814.875	\$ 636.406.305	\$ 983.377.049	\$ 1.360.724.719	\$ 1.770.576.662
Total Gastos operativos		\$ 317.814.875	\$ 636.406.305	\$ 983.377.049	\$ 1.360.724.719	\$ 1.770.576.662
EBITDA		\$ 1.355.434.030	\$ 2.714.179.958	\$ 4.193.959.513	\$ 5.803.292.222	\$ 7.551.250.911
Depreciación		\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000
Utilidad Operativa		-\$ 183.021.970	\$ 1.175.723.958	\$ 2.655.503.513	\$ 4.264.836.222	\$ 6.012.794.911
Intereses		0	0	0	0	0
Utilidad Antes de impuestos			-\$ 183.021.970	\$ 1.175.723.958	\$ 2.655.503.513	\$ 4.264.836.222
(-) Impuestos		\$ 0	\$ 387.988.906	\$ 876.316.159	\$ 1.407.395.953	\$ 1.984.222.321
Utilidad Neta		-\$ 183.021.970	\$ 787.735.052	\$ 1.779.187.354	\$ 2.857.440.269	\$ 4.028.572.590
Más depreciaciones		\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000	\$ 1.538.456.000
Más intereses		0	0	0	0	0
Total inversiones	-\$ 15.384.560.000					
Inversión en KT	-\$ 991.483.848	-\$ 993.906.462	-\$ 2.073.924.966	-\$ 2.171.114.169	-\$ 3.352.535.926	-\$ 3.333.677.741
Ahorro en impuestos		\$ 60.397.250	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 0
Flujo Neto del Proyecto	-\$ 16.376.043.848	\$ 421.924.819	\$ 252.266.086	\$ 1.146.529.185	\$ 1.043.360.343	\$ 35.876.525.394

Fuente: Los autores.

ANEXO D. Resultados Estadísticos @RISK

Name Description Cell	Valor Presente (2014) / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B41	Tasa Interna de Retorno / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B42	Valor Presente Neto (2014) / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B43	VC (2019) / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B45	VFC (2015) / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B46	FC (2015) / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B47	z / Flujo Neto del Proyecto Output ProyecciónFaseI!B48
Minimum	(\$ 9.310.621.000,00)	-21,87%	(\$ 25.755.630.000)	-\$ 12.898.020.000	-\$ 9.928.692.000	-\$ 1.028.688.000	-9,739349
Maximum	\$ 78.645.090.000,00	49,17%	\$ 62.208.510.000	\$ 92.803.600.000	\$ 83.865.830.000	\$ 2.257.810.000	1,102645
Mean	\$ 33.413.990.000,00	22,13%	\$ 17.074.650.000	\$ 39.555.090.000	\$ 35.632.130.000	\$ 479.485.100	0,1265526
Std Deviation	\$ 14.151.290.000,00	12,09%	\$ 14.113.310.000	\$ 16.613.820.000	\$ 15.090.700.000	\$ 415.440.900	0,5576309
Variance	2,00259E+20	0,01461978	1,99185E+20	2,76019E+20	2,27729E+20	1,72591E+17	0,3109522
Skewness	0,0922306	-0,7062641	0,09511019	0,06407031	0,0922306	0,03649502	-2,218262
Kurtosis	2,645715	3,380523	2,637446	2,648266	2,645715	2,97135	18,47691
Errors	0	99	0	0	0	0	39
Mode	\$ 26.871.300.000,00	30,27%	\$ 16.619.070.000	\$ 31.936.260.000	\$ 28.655.110.000	\$ 512.433.100	0,414858
5% Perc	\$ 10.489.100.000,00	-0,74%	(\$ 5.866.956.000)	\$ 12.450.880.000	\$ 11.185.400.000	-\$ 199.376.900	-0,8860452
10% Perc	\$ 14.876.030.000,00	5,49%	(\$ 1.393.378.000)	\$ 17.632.050.000	\$ 15.863.550.000	-\$ 51.289.300	-0,5625951
15% Perc	\$ 18.072.720.000,00	9,46%	\$ 1.718.646.000	\$ 21.694.690.000	\$ 19.272.450.000	\$ 47.183.490	-0,3636459
20% Perc	\$ 20.893.310.000,00	12,68%	\$ 4.569.188.000	\$ 24.911.120.000	\$ 22.280.280.000	\$ 126.093.100	-0,2211663
25% Perc	\$ 23.338.230.000,00	15,09%	\$ 7.025.439.000	\$ 27.781.120.000	\$ 24.887.500.000	\$ 191.425.000	-0,1147423
30% Perc	\$ 25.431.260.000,00	17,18%	\$ 9.118.778.000	\$ 30.348.770.000	\$ 27.119.470.000	\$ 254.670.300	-0,02663825
35% Perc	\$ 27.422.370.000,00	19,00%	\$ 11.139.110.000	\$ 32.541.580.000	\$ 29.242.760.000	\$ 317.084.300	0,04608812
40% Perc	\$ 29.427.360.000,00	20,73%	\$ 13.084.060.000	\$ 34.941.630.000	\$ 31.380.850.000	\$ 378.724.100	0,1149828
45% Perc	\$ 31.337.740.000,00	22,33%	\$ 15.033.530.000	\$ 37.089.000.000	\$ 33.418.050.000	\$ 428.292.300	0,1792925
50% Perc	\$ 33.150.230.000,00	23,78%	\$ 16.771.140.000	\$ 39.358.540.000	\$ 35.350.860.000	\$ 480.942.100	0,2355103
55% Perc	\$ 35.116.360.000,00	25,26%	\$ 18.814.530.000	\$ 41.612.880.000	\$ 37.447.500.000	\$ 528.974.500	0,2913463
60% Perc	\$ 37.098.970.000,00	26,71%	\$ 20.744.140.000	\$ 43.997.660.000	\$ 39.561.730.000	\$ 582.822.200	0,3460941
65% Perc	\$ 39.111.020.000,00	28,14%	\$ 22.743.780.000	\$ 46.210.230.000	\$ 41.707.350.000	\$ 634.008.400	0,4005048
70% Perc	\$ 41.238.350.000,00	29,50%	\$ 24.818.740.000	\$ 48.730.470.000	\$ 43.975.890.000	\$ 694.945.700	0,4529427
75% Perc	\$ 43.336.450.000,00	31,01%	\$ 26.982.960.000	\$ 51.135.380.000	\$ 46.213.280.000	\$ 759.345.200	0,5019698
80% Perc	\$ 45.595.900.000,00	32,41%	\$ 29.299.730.000	\$ 53.867.440.000	\$ 48.622.710.000	\$ 830.005.200	0,5541255
85% Perc	\$ 48.359.980.000,00	34,04%	\$ 32.013.980.000	\$ 57.116.540.000	\$ 51.570.280.000	\$ 913.592.500	0,611593
90% Perc	\$ 51.957.190.000,00	36,13%	\$ 35.573.040.000	\$ 61.298.670.000	\$ 55.406.290.000	\$ 1.019.612.000	0,6840634
95% Perc	\$ 57.003.430.000,00	38,99%	\$ 40.614.700.000	\$ 67.043.900.000	\$ 60.787.520.000	\$ 1.165.099.000	0,7770713

Fuente: Software @Risk.

ANEXO E. Información para Z.

Regression and Rank Information for z / Flujo Neto del Proyecto			
Rank	Name	Regr	Corr
1	KT/GV y C promedio	-0,518	-0,532
2	C/V	-0,455	-0,470
3	Demanda resmas de papel (ton/año) / 2014	0,349	0,354
4	Varación anual de la demanda de resmas de papel / 2015	0,282	0,292
5	Varación anual de la demanda de resmas de papel / 2017	0,256	0,269
6	Varación anual de la demanda de resmas de papel / 2019	0,254	0,272
7	Varación anual de la demanda de resmas de papel	-0,115	-0,065
8	Varación anual de la demanda de resmas de papel / 2016	0,080	0,112
9	Varación anual de la demanda de resmas de papel / 2018	0,076	0,095

Fuente: Software @Risk.

BIBLIOGRAFÍA

ADAM, E ; SWAMIDASS, P (1989). Assessing Operations Management from a Strategic Perspective. Journal of Management. Vol. 15 (2).

ANDERSON, J ; SCHROEDER, R ; CLEVELAND, G (1989). Operations Strategy: A Literature Review. Journal of Operations Management. Vol. 8 (2).

BENGTSSON, Jens (2001). *Manufacturing flexibility and real option: A review. International Journal of Production Economics.*

BOYER, Kenneth y LEWIS, Marianne (2002). *Competitive priorities: investigating the need for trade-offs in operations strategy. Production and operations management society.*

BPR Benchmark (2013). *Reportes Sectoriales Sector de Papel, Cartón y Empaques.*

BRACH, Marion (2003). *Real options in practice.* New Jersey: John Wiley & sons.

BUFFA, E (1984). *Meeting the Competitive Challenge.* Dow Jones-Irwin, Homewood, IL.

BITRÓN, Laura y PALACIOS, Juan Felipe (2013). *Modelo de evaluación financiera para proyectos de inversión en generación de energía eólica bajo condiciones de incertidumbre.*

CHANG, JIANG Y TANG (2000). *The development of intelligent decision support tools to aid the design of flexible manufacturing systems.*

CHASE Richard B, AQUILANO Nicholas J y JACOBS Robert. (2004). *Administración de producción y operaciones. Manufactura y servicios.* Octava edición. México McGraw Hill.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). (2013). *Variaciones en torno al escalafón de competitividad departamental en Colombia.* Naciones Unidas.

CORBETT, L (2008). *Manufacturing strategy, the business environment, and operations performance in small low-tech firms. International Journal of Production research.*

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN, DOCUMENTO REGIONAL, VALLE DEL CAUCA. (2007a). *Agenda Interna para la Productividad y la Competitividad.*

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP). (2007b). *Cadena pulpa, papel, cartón, industrias gráficas, industrias editoriales.*

DÍAZ, Eloísa (2003). *La estrategia de producción como estrategia funcional: Una propuesta de configuraciones genéricas en la industria española.* Tesis doctoral Universidad Rey Juan Carlos. España.

FINE, C. H y HAX, A. C. (1985). *Manufacturing Strategy: A Methodology and an Illustration. Interfaces, vol. 15.*

HAYES, Robert; WHEELWRIGHT, Steven (1984). *Manufacturing Competitive edge. Competing Through Manufacturing.*

HAYES, R, WHEELWRIGHT, S y CLARK, K. B. (1988). *Dinamic Manufacturing. The Free Press.*

HILL, T. J (1987). *Teaching and Research Directions in Production/Operations Management: The Manufacturing Sector. International Journal of Operations & Production Management, vol. 7 Iss: 4, pp.5 – 12.*

HILL, T. J (1989). *Manufacturing Strategy: Text and Cases. Irwin, Homewood, IL.*

INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática) (2006). *Glosario Básico de Términos Estadísticos. Lima, Perú.*

KAMAL M. Al-Subhi Al-Harbi (2001). *Application of the AHP in project management.*

KRAJEWSKI, Lee y RITZMAN, Larry. (2000). *Administración de las operaciones: estrategia y análisis.*

KRAJEWSKI, Lee; RITZMAN, Larry y MALHOTRA, Manoj (2008). *Administración de las operaciones: estrategia y análisis.*

LAMOTHE, Prosper (2003). *Opciones financieras y productos estructurados.*

MANOTAS, Diego y MANYOMA Pablo (2001). *La evaluación de proyectos de inversión mediante opciones reales: aspectos conceptuales.*

MANYOMA, Pablo Cesar (2006). *Desarrollo de una metodología de valoración multiatributo para el análisis de decisiones de flexibilidad en sistemas de producción.* Trabajo de grado para optar por el título de Master en ingeniería con énfasis en ingeniería industrial. Universidad del Valle.

MANYOMA, Pablo Cesar (2011). *Medición de la flexibilidad en manufactura.* Revista EIA. ISSN 1794-1237. Número 16. pp 61-76.

MARTÍNEZ, Eduardo y ESCUDEY, Mauricio (eds.) (1997). *Evaluación y decisión multicriterio: reflexiones y experiencias.* Santiago. USACH, UNESCO © 1997.

MASCAREÑAS, J; LAMONTHE, P; LUBIÁN F; LUNA, W (2004). *Opciones reales y valoración de activos.* Madrid: Pretince Hall.

MATTA, A y SEMERARO, Q (2005). *Desing of avanced Manufacturing System.* Capítulo 1. Published bySpringer. Holanda.

MAYER, R y MOORE, J (1983). *Applying Manufacturing Strategy Concepts to Practice.* Operations Management Review.

MICÁN, Camilo (2012). *Evaluación multicriterio de decisiones estructurales de la estrategia de operaciones integrando criterios de flexibilidad operativa y opciones reales.*

MOYER, R ; MCGUIGAN, J y KRETLOW, W (2005). *Administración Financiera Contemporánea*, Novena ed. México.

MYERS, Stewart (1984). *Finance Theory and Financial Strategy*. *Interfaces*, 14, 126-137.

PAKDIN, Morteza (2010). *Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods*.

PÉREZ, B (2003). *Modelo para fortalecer capacidades básicas de PYME, Ingeniería y competitividad*, Vol. 5 No 1. Universidad del Valle. Colombia.

PLATTS, K y GREGORY, M (1990). *Manufacturing Audit in the Process of Strategy Formulation*. *International Journal of Operations and Production Management*. Vol 10(9). pp. 5-26.

PLATTS, K y GREGORY, M (1992). *A Manufacturing Audit Approach to Strategy Formulation*. En VOSS, C. A. (editor). *Manufacturing Strategy, Process and Content*. Chapman & Hall. pp. 29-55.

PUENTES, Paula. (2003). *Aplicación del análisis de las opciones reales a la evaluación económica de un proyecto de inversión colombiano. Caso Transmilenio*. Colombia.

REY, Carlos y AGUDELO, Carlos (2008). *Aplicación de la metodología de opciones reales para la Evaluación de proyectos de expansión de la capacidad productiva; una aplicación a un caso colombiano*

ROCHE, Hugo; VEJO, Constantino (2005). *Métodos cuantitativos aplicados a la administración*.

ROMANO, J. D (1983). *Operations Strategy*. Strategic Management. McGraw-Hill. Nueva York.

ROMERO, Carlos (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio.*

RUSSELL, R y TAYLOR, B (2006). *Operations management: Quality and competitiveness in a global environment.* 5th ed. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, 896 p.

SAMSON, D (1991). *Manufacturing and Operations Strategy.* Prentice-Hall. Sydney.

SCHROEDER, R; ANDERSON, J y CLEVELAND, G (1986). *The Content of Manufacturing Strategy: An Empirical Study.* *Journal of Operations Management*, vol. 6(4), pp. 405-416.

SCHONBERGER, R y KNOD, E (1988). *Operations Management, Serving the Customer.* TX Business Publications. 3° edición.

SHANG y SUEYOSHI (1995). *A unified framework for the selection of a Flexible Manufacturing System.*

SHEWCHUK, John y MOODIE, Colin (1998). *Definition and Classification of Manufacturing Flexibility Types and Measures.*

SKINNER, W (1969). *Manufacturing Missing Link in Corporate Strategy.* *Harvard Business Review.* Vol 47 (julio-agosto). pp. 136-145.

SKINNER, W (1978). *Manufacturing in the corporate strategy.* New York: John Wiley & Sons.

SLACK, N y LEWIS, M (2002). *Operations Strategy.* Prentice-Hall.

STAM Y KUULA (1991). *Selecting a Flexible Manufacturing System using multiple criteria analysis.*

SWAMIDASS, P y NEWELL, W (1987). *Manufacturing Strategy, Environmental Uncertainty and Performance: A Path Analytical Model.* *Management Science*, vol. 33 (4). pp. 509-524.

SWINK, M y WAY, M (1995). *Manufacturing Strategy: Propositions, Current Research, Renewed Directions.* *International Journal of Operations and Production Management.* vol. 15 (7). pp. 4-26.

TENORIO MUÑOZ, Laura; MENA CLAVIJO, Juan Pablo (2013). *Análisis de la logística de ciclo cerrado y su impacto en la gestión de residuos sólidos: Un caso de estudio.*

UPTON, D (1994). *The management of manufacturing flexibility.* *California Management Review.* Winter 1994. pp. 72-89.

WHEELWRIGHT, S (1978). *Reflecting Corporate Strategy in Manufacturing Decisions.* *Business Horizons* (febrero).

WHEELWRIGHT, S (1981). *Japan—Where Operations Really are Strategic.* *Harvard Business Review.* vol. 59 (julio-agosto). pp. 67.-74.

WHEELWRIGHT, S (1984). *Manufacturing Strategy: Defining the Missing Link.* *Strategic Management Journal*, vol. 5, pp. 77-91.

YEO, KT y FASHENG, Qiu (2003). *The value of management flexibility a real option approach to investment evaluation.* *International Journal of Project Management.*