



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN  
INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA

VALUACIÓN FINANCIERA DEL IMPACTO DE UNA  
MEJORA EN EL ÁREA DE PRODUCCIÓN:  
CASO DE UNA EMPRESA ACEITERA

**T E S I S**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN INGENIERÍA**

INGENIERÍA DE SISTEMAS - OPTIMIZACIÓN FINANCIERA

P R E S E N T A :

**ING. LINA LIZETH CALDERÓN GONZÁLEZ**

TUTOR:

**M. A. JORGE ELIÉCER SÁNCHEZ CERÓN**

2012



---

**JURADO ASIGNADO:**

**Presidente:** Dr. Ricardo Aceves García

**Secretario:** M. I. Isabel Patricia Aguilar Juárez

**Vocal:** M. A. Jorge Eliécer Sánchez Cerón

**1<sup>er.</sup> Suplente:** Dr. Federico Hernández Álvarez

**2<sup>do.</sup> Suplente:** M. I. Jorge Luis Silva Haro

Lugar donde se realizó la tesis:

Ciudad Universitaria, México, Distrito Federal

**TUTOR DE TESIS**



---

M. A. JORGE ELIÉCER SÁNCHEZ CERÓN

---

***Dedicatoria:***

*A Dios por darme fortaleza y esperanza en los momentos difíciles.*

*A mis papás por siempre estar conmigo, brindarme su apoyo en todo momento y ser excelentes seres humanos.*

*A mis amigos y amigas por su valiosa amistad.*

*Al M. A. Jorge Eliécer Sánchez Cerón por su invaluable apoyo en la elaboración de este trabajo.*

*A la UNAM y al Programa de Maestría y Doctorado de la Facultad de Ingeniería por darme la oportunidad de enriquecerme en conocimiento y en espíritu.*

*A todas aquellas personas que brindaron su apoyo para la elaboración de este trabajo, gracias por su colaboración.*

*A todos ustedes mi más sincero agradecimiento y cariño.*

*Lina L. Calderón González*

---

---

# Índice

<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>Capítulo I Función de producción</b>	
I.1 Elementos de la función de producción.....	4
I.2 El proceso de producción.....	7
I.3 Sistemas productivos.....	10
I.4 Mejora de producción.....	14
<b>Capítulo II Simulación de sistemas de producción</b>	
II.1 La simulación.....	17
II.2 Lenguajes de simulación.....	20
II.3 Simulación de eventos discretos.....	21
II.4 La simulación de sistemas productivos.....	23
II.5 Software de simulación Arena.....	24
<b>Capítulo III El valor de la empresa</b>	
III.1 Concepto del valor.....	27
III.2 Método del APV.....	33
III.3 Modelo probabilístico de flujo de caja y simulación Montecarlo.....	35
III.4 Valoración por opciones reales.....	42
<b>Capítulo IV Análisis de caso</b>	
IV.1 Introducción.....	53
IV.2 Construcción del modelo conceptual.....	53
IV.3 Construcción del modelo computacional.....	56
IV.4 Definición del sistema modificado con mejora.....	59
IV.5 Obtención de variable de salida.....	61
IV.6 Cálculo del valor mediante el método de Montecarlo aplicado con la distribución beta.....	63
IV.7 Cálculo del valor modificado por la mejora.....	67
IV.8 Valor de la opción del proyecto de mejora.....	70
<b>Conclusiones.....</b>	<b>73</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>75</b>

---

---

## Índice de Figuras y Tablas

### Figuras

Fig. 1 Metodología general a seguir.....	2
Fig. 2 Metodología de estudio de simulación y valuación.....	3
Fig. 3 El sistema productivo.....	4
Fig. 4 Los factores de producción.....	7
Fig. 5 Contexto del área de producción.....	10
Fig. 6 Matriz de proceso-producto de Hayes y Wheelwright.....	13
Fig. 7 Sistema de un servidor y una línea de espera.....	23
Fig. 8 Árbol binomial del precio de un activo subyacente.....	46
Fig. 9 Comportamiento del valor de la opción de compra.....	47
Fig. 10 Comportamiento del valor de la opción de venta.....	48
Fig. 11 Árbol binomial de 4 pasos.....	50
Fig. 12 Diagrama de bloques del proceso de la “ <i>Empresa Aceitera</i> ”.....	54
Fig. 13 Modelo computacional del área de producción de la “ <i>Empresa Aceitera</i> ”....	56
Fig. 14 Animación del modelo computacional de la “ <i>Empresa Aceitera</i> ”.....	57
Fig. 15 Diagrama de Flujo de proceso simplificado de la propuesta de mejora en la “ <i>Empresa Aceitera</i> ”.....	60
Fig. 16 Gráfica de los FCF obtenidos de la proyección.....	65
Fig. 17 Gráfica de los FCF obtenidos de la proyección con mejora.....	68
Fig. 18 Árbol de dos pasos del comportamiento de precio del activo subyacente....	70
Fig. 19 Árbol de dos pasos del comportamiento del resultado por ejercicio.....	71
Fig. 20 Árbol de dos pasos del comportamiento del valor de la opción viva.....	72

### Tablas

Tabla 1 Principales métodos de valoración.....	27
Tabla 2 Relación de las variables en el valor de opciones.....	43
Tabla 3 Tiempos de operación en el área de producción de “ <i>Empresa Aceitera</i> ”.....	55
Tabla 4 Parámetros utilizados en el modelo CAPM.....	63
Tabla 5 Definición de escenarios.....	65
Tabla 6 Parámetros del modelo de probabilidad.....	65
Tabla 7 Resultados del proceso de simulación.....	66
Tabla 8 Definición de escenarios en sistema modificado.....	67
Tabla 9 Parámetros del modelo de probabilidad modificado.....	68
Tabla 10 Resultados del proceso de simulación modificado.....	69
Tabla 11 Datos para el cálculo de la opción.....	70

---

---

---

---

# INTRODUCCIÓN

Debido a la constante presión por ser competitivos y por efectivamente satisfacer las necesidades de los clientes las empresas se han esforzado en implementar métodos, técnicas o estrategias de mejora en el área de producción de las mismas.

En esta área se han realizado numerosos estudios relacionados con el diseño y el contenido de cómo deben ser estas mejoras.

Algunos de estos estudios son llevados a cabo desde el punto de vista teórico y otros realizan análisis empíricos para diseñar la técnica o el método ideal.

Existe la necesidad de mejorar los sistemas de producción y de desarrollar herramientas que soporten y ayuden a dichas mejoras. [17:8]

Se han mencionado continuamente los posibles beneficios que se tienen de la implementación de una mejora en el área de producción como son el aumento de la productividad, la rentabilidad y la competitividad en general.

Sin embargo, es poca la literatura que combina la técnica de la simulación de sistemas de producción con la forma de medir el impacto, en términos del valor de la empresa, de la implementación de esas mejoras. El tema de la generación de valor de una empresa es esencial ya que el aumentar el valor de la misma es uno de los objetivos principales para todos los agentes involucrados en ella.

Este trabajo pretende hacer un análisis y aporte en ese sentido, realizando la valuación financiera de la implementación de una mejora en el área de producción de una empresa, llevando a cabo la implementación de la misma mediante un simulador. Comprobando así, que la mejora de producción va a generar valor en la empresa del caso.

## **Objetivo General**

Medir el impacto en el valor de una empresa de la implementación de una mejora en el área de producción.

---

## Objetivos específicos

- Identificación del sistema de producción
- Establecer el modelo del sistema de producción, simular y validar utilizando un paquete de simulación
- Mediante el simulador implementar la mejora de producción
- A partir de los resultados de la implementación realizar la valuación.

## Hipótesis

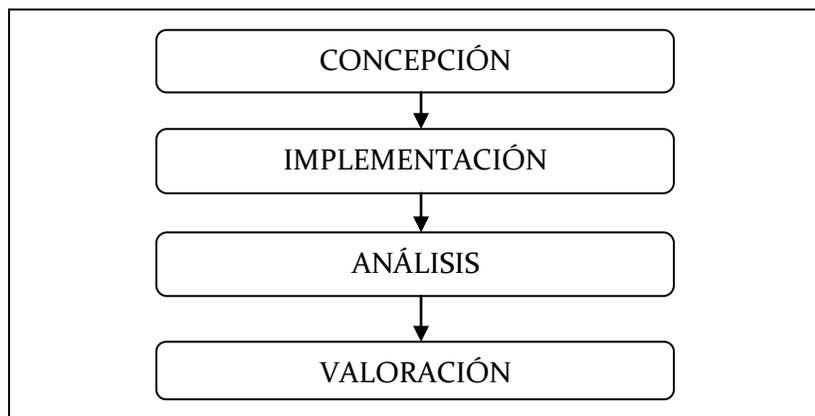
Implementar una mejora de producción, contribuye a la generación de valor en la “Empresa Aceitera”.

## Preguntas de Investigación

- ¿De qué forma puede medirse el impacto de la implementación de una mejora en el área de producción de una empresa?
- ¿Cómo influye la implementación de una mejora en el valor de una empresa?

## Metodología

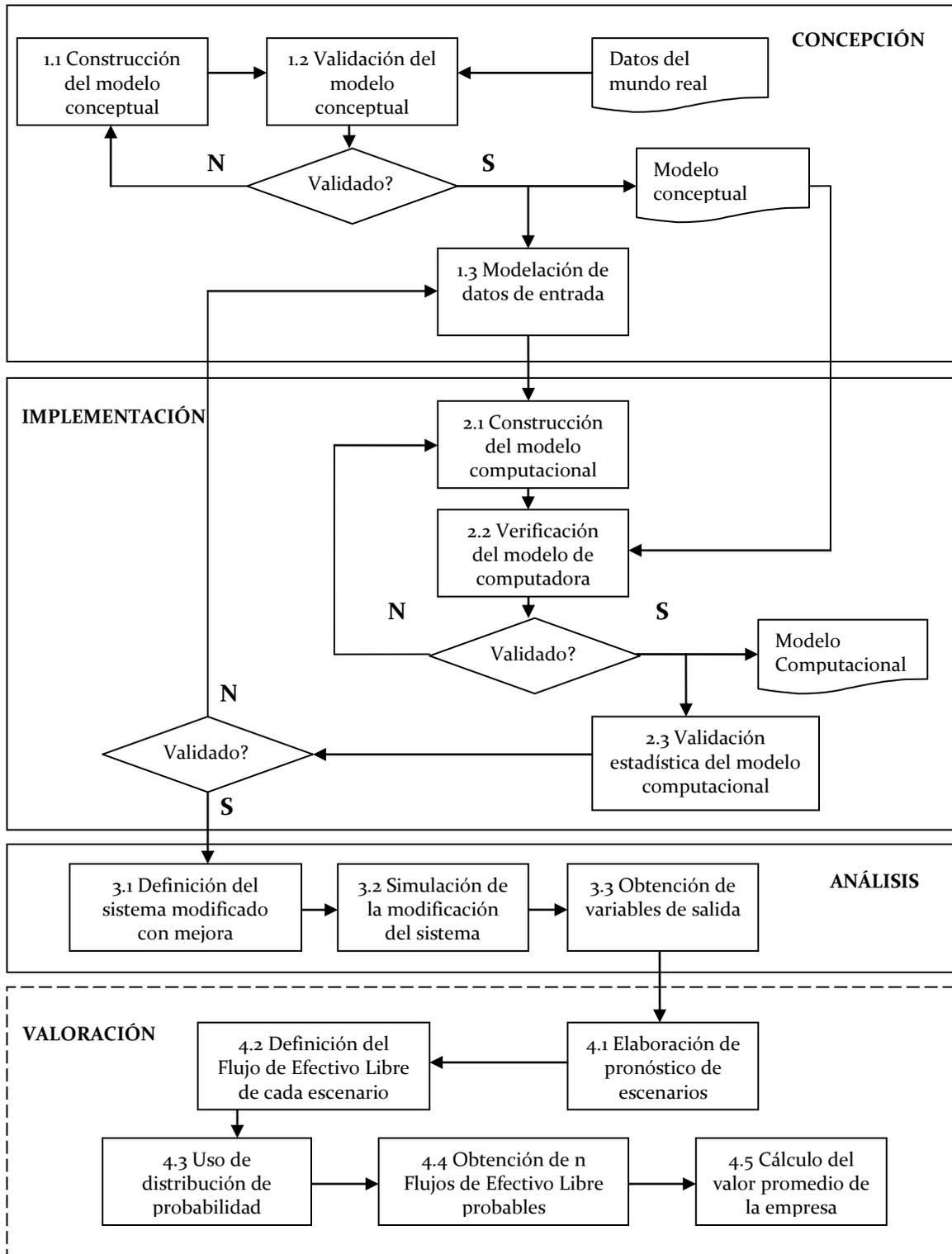
La metodología a seguir se plantea en el diagrama de la figura 1 a continuación.



**Fig. 1** Metodología general a seguir

La primera fase de concepción involucra la definición del sistema de producción a simular. La fase de implementación resulta en la obtención del modelo computacional del sistema de producción. La fase de análisis se establece con el objetivo de definir la mejora al sistema el cual causará la modificación a simular. La última fase involucra la metodología para valorar el impacto de la mejora del sistema de producción.

La figura 2 muestra detalladamente cada una de las fases descritas anteriormente.



**Fig. 2** Metodología de estudio de simulación y valuación

Fuente: Basado en Barra, 2010. [3]

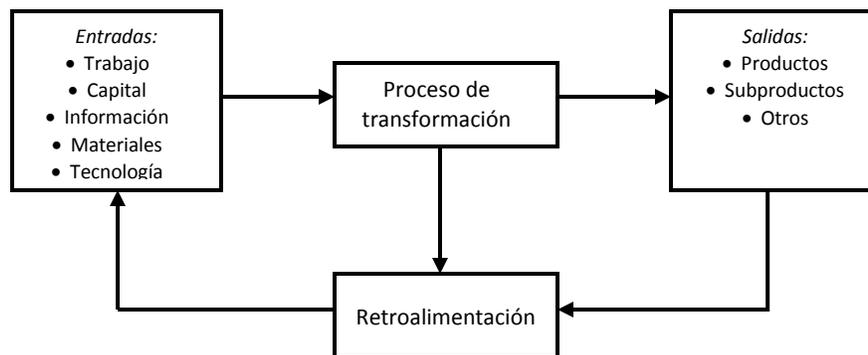
---

# CAPÍTULO I FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN

## I.1 ELEMENTOS DE LA FUNCIÓN DE PRODUCCIÓN

La función de producción puede ser considerada como un sistema abierto. Un sistema abierto es un conjunto organizado, formado por dos o más partes interrelacionadas y delimitado por una frontera identificable de su entorno o suprasistema, con el que interactúa intercambiando información y productos para lograr un objetivo determinado [9].

La figura 3 muestra un esquema del sistema de producción de cualquier empresa.



**Fig. 3** El sistema productivo

Fuente: Fernández, 2006. [9]

Las siguientes son algunas de las características y los elementos constitutivos más importantes de la función de producción entendida como un sistema abierto.

### ***Entorno***

El entorno es todo lo que se encuentra fuera del sistema y está fuera del control de éste, el cual tiene dos rasgos distintivos. En primer lugar, el sistema puede ejercer una influencia, a veces muy escasa, sobre las características o el comportamiento del

---

entorno. En segundo lugar, el entorno influye, incluso de forma considerable, en el comportamiento del sistema.

Existen dos tipos de entorno que el departamento de producción debe de considerar: el *genérico* y el *específico*.

El genérico coincide con el entorno de la empresa, que incide sobre ésta y, también, de forma directa, sobre el departamento de producción. Como por ejemplo los cambios tecnológicos, económicos o socioculturales por citar algunos.

El entorno específico engloba el resto de departamentos de la empresa: marketing, recursos humanos y el financiero, etc.

### ***Límite***

El límite separa al sistema de su entorno, marcando el dominio de sus actividades. Un sistema abierto es permeable y permite la interacción y el intercambio con el entorno.

Los límites de un sistema abierto son frecuentemente flexibles y variables en el tiempo, de acuerdo con las actividades y funciones realizadas.

La función de producción tiene dos límites: uno físico y otro de decisión. El límite físico se refiere al espacio donde se sitúan las máquinas, materiales, trabajadores y demás factores necesarios para la transformación. El límite decisorio está relacionado con la responsabilidad que asumen los directivos y los trabajadores en relación con las decisiones que se toman en la función de producción. Ambos límites pueden ser muy difusos en la actualidad.

### ***Misión y objetivos***

Todo sistema abierto tiene una misión que lo prepara para el futuro, satisfaciendo las expectativas tanto del sistema como algunas del entorno. La misión es un acuerdo entre el sistema y su entorno que garantiza la supervivencia del primero. Los objetivos son actividades internas específicas que establece el sistema para avanzar en el cumplimiento de la misión.

La misión se formula para la empresa como un todo y es la misma para los diversos departamentos, puede hacerse más concreta a medida que desciende por la jerarquía de la empresa. El departamento de producción formula posteriormente unos

---

objetivos acordes a la misión a alcanzar. La misión de la empresa permite unificar los objetivos de los diferentes departamentos.

Los objetivos de producción deben respaldar los objetivos del negocio y al mismo tiempo ser compatibles con los objetivos del resto de departamentos funcionales.

Se puede hablar de la existencia de cuatro objetivos para el área de producción: costo, calidad, flexibilidad y plazo de entrega. En los últimos años se toman en cuenta además de los anteriores otros dos objetivos: servicio y medio ambiente.

El **costo** de producción incluye los costos de mano de obra, de los materiales y otros costos directos e indirectos.

La **calidad** define el valor de un producto, el prestigio y su utilidad.

La **flexibilidad** mide la capacidad de adaptación de la fabricación a las necesidades cambiantes del mercado.

El objetivo de **plazo de entrega** presenta dos dimensiones: a) velocidad y b) fiabilidad de entregar el producto en el tiempo especificado.

La función de producción puede proporcionar una serie de servicios, tanto a clientes internos como a externos. Debe igualmente proporcionar datos sobre el comportamiento del producto y su estructura para el departamento de investigación y desarrollo, parámetros del proceso para los diseñadores y restricciones de capacidad para departamentos de ventas.

El medio ambiente se puede plantear desde la perspectiva de control, consistente en la eliminación, reducción o tratamiento de los contaminantes al final del proceso productivo.

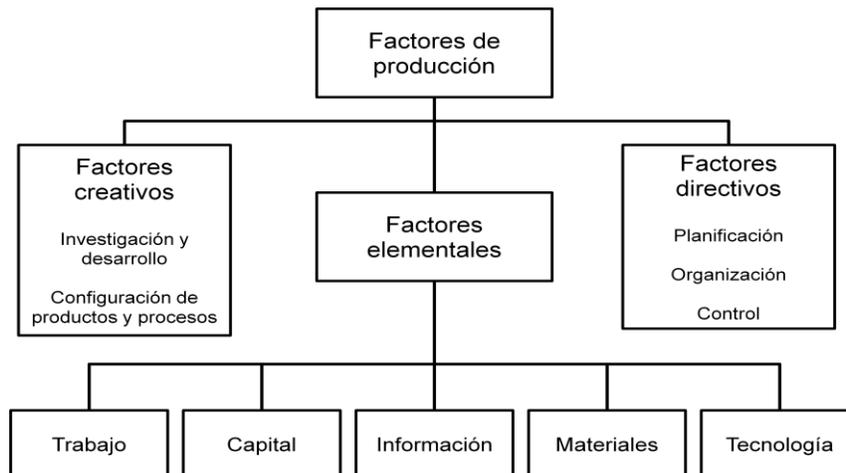
### ***Transformación***

Un sistema abierto es como un modelo energético de transformación, adquiere energía del entorno, la transforma y, posteriormente, la traslada nuevamente al exterior.

En el caso del sistema productivo la energía que absorbe del entorno son las *entradas* (recursos o factores de producción) y la que transfiere al entorno son las *salidas* (bienes y/o servicios).

---

Los recursos o *entradas* son todos los factores que están a la disposición del sistema para su utilización durante el proceso de transformación. En la figura 4 se muestra que los factores de producción pueden ser de tres tipos: creativos, elementales y directivos.



**Fig. 4** Los factores de producción  
Fuente: Fernández, 2006. [9]

Los factores creativos son propios de la ingeniería de diseño y permiten configurar un sistema productivo que se caracterice por máxima economía y eficacia.

Los factores directivos se centran en la gestión del proceso productivo y pretenden garantizar el correcto funcionamiento de éste.

Los recursos elementales son utilizados directamente en la transformación.

## I.2 EL PROCESO DE PRODUCCIÓN

En el proceso de producción, uno o varios factores productivos se transforman en productos mediante un conjunto de actividades. Esta transformación añade valor a los componentes adquiridos por la empresa [9].

El proceso de producción está formado por *tareas, flujos y almacenamientos*.

---

### I.2.1 Tareas

Una *tarea* es cualquier acción realizada por trabajadores y/o máquinas sobre las materias primas, productos semiterminados o productos terminados. Las tareas pueden ser de varios tipos:

- **Tareas esenciales.** Consisten en transformaciones que cambian las características físicas o químicas de los materiales; por ejemplo llevar a cabo una reacción química. Para realizarlas se pueden usar tecnologías de proceso distintas: herramientas manuales y máquinas convencionales o automáticas.
- **Tareas auxiliares.** Son el complemento de las esenciales, son de menor rango pero necesarias; por ejemplo, la fijación o carga de la materia prima.
- **Tareas de apoyo.** Tienen una orientación específica para el proceso; por ejemplo, la preparación y ajuste de las máquinas que llevan a cabo las tareas esenciales.
- **Tareas superfluas.** Son acciones que ocurren irregularmente y que no añaden valor al producto; como las reparaciones.

### I.2.2 Flujos

Los flujos pueden ser de productos y de información. El flujo de productos es la secuencia que siguen los materiales desde su recepción en fábrica hasta su llegada al almacén de productos terminados. Durante este flujo se utilizan trabajo y capital.

Es posible distinguir tres tipos de flujos de productos: estático, funcional y secuencial.

#### *Estático*

Las tareas se realizan en donde el producto está asentado. Las personas y las máquinas se desplazan para llevar a cabo la transformación.

También se conoce como distribución en planta de posición fija. En este flujo tienen gran importancia la programación y la fiabilidad de proveedores así como el control de las tareas. Se utilizan diagramas de redes para mostrar la procedencia y programación de las tareas.

---

### ***Funcional***

Se distribuyen las máquinas y trabajadores en centros de trabajo especializados. En un lugar se colocan las máquinas del mismo tipo (o por proceso). Este flujo es muy flexible y permite la producción de diferentes líneas de productos en lotes de tipo pequeño o mediano. Cada producto tiene su propio flujo funcional que describe los sucesivos centros de trabajo donde hay que trasladar los materiales.

Este flujo tiene varias ventajas: permite la fabricación de diferentes productos, facilita la supervisión de los trabajadores, elimina la interrupción de la producción por la avería de una máquina y apoya al aprendizaje y especialidad de los trabajadores en su área de trabajo. Por otra parte, si se fabrica una gran variedad de productos en cada centro se puede perder el control de los inventarios y de la calidad.

### ***Secuencial***

Existe una alineación de las tareas unas a continuación de otras según la secuencia técnica para transformar los materiales en productos. Esta distribución disminuye los inventarios de productos semiterminados. Los flujos secuenciales pueden ser de dos tipos: en línea recta o en forma de U.

En el flujo en ***línea recta*** la eficiencia se consigue utilizando máquinas de uso específico y trabajadores especializados y poco cualificados para obtener un elevado volumen de un producto estandarizado. La confusión se reduce al estar dedicado cada flujo a una línea de productos, lo que, a su vez, simplifica la planificación y el control de la producción. Este flujo es muy rígido pues hace difícil y costoso modificar el producto o el volumen de producción.

El ***flujo en forma de U***, también llamado distribución celular, se caracteriza por fabricar pequeños lotes de una gran variedad de productos para atender múltiples segmentos del mercado de masas.

La célula se forma por unos pocos trabajadores y máquinas que fabrican diversos componentes. Cada operario, habitualmente muy cualificado, debe atender diferentes máquinas, e incluso, realizar operaciones auxiliares de mantenimiento de equipos y de control de calidad. Las máquinas pueden estar enfrente de él y a su espalda. La esencia de esta distribución es la polivalencia del trabajador que puede ser difícil de alcanzar para trabajadores con varios años en la misma especialidad.

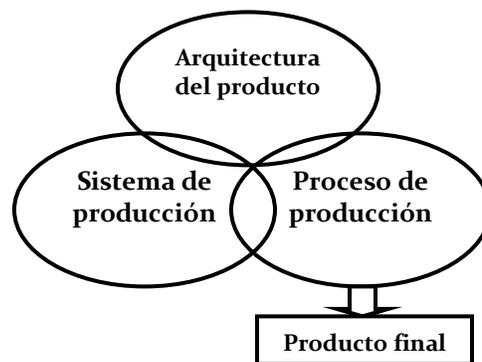
---

### I.3 SISTEMAS PRODUCTIVOS

Un sistema de producción puede ser definido como el arreglo y operación de maquinaria, herramientas, materiales, personas, e información para producir un valor agregado físico, informacional, o de servicio al producto cuyo éxito y costo son definidos por parámetros medibles. [17]

Otras definiciones más generales consideran al sistema de producción como todo el sistema que se necesita para generar un producto. [17]

Este trabajo se enfoca en una mejora en el área de producción. En este contexto existen diversos factores que afectan el desempeño de toda un área de producción como se muestra en la figura siguiente.



**Fig. 5** Contexto del área de producción

Fuente: Koho, 2010. [17]

La arquitectura del producto se relaciona con el diseño y la estructura del producto que se fabrica. El proceso de producción y las características relacionadas con el producto final, como por ejemplo las características opcionales y funcionalidad del producto, pueden afectar y determinar el desempeño del área de producción.

La arquitectura del producto y el proceso de producción están interrelacionados con el sistema de producción por lo que una mejora de producción podría ser planeada a partir de cualquier factor proveniente de este contexto.

---

### **I.3.1 Tipos de sistemas productivos**

No es común encontrar un tipo de sistema productivo único pues pueden existir en combinación y además pueden coexistir varios en una misma fábrica.

La elección del sistema productivo más adecuado para cada producto depende de múltiples circunstancias, como el tamaño del mercado, la estrategia de la empresa, dinamismo tecnológico del sector, tipo de clientes y etapa del ciclo de vida en que se encuentre el producto.

#### ***Producción por proyecto***

Este sistema utiliza un flujo de producto estático. Se ocupa de obtener productos únicos, generalmente complejos, que satisfacen las necesidades específicas de cada cliente.

Una reparación casera de plomería, la construcción de un puente o un barco, son algunos ejemplos de producción por proyecto.

#### ***Producción artesanal***

Se emplean herramientas manuales y trabajadores muy cualificados que, normalmente, deben realizar todas las tareas necesarias para la transformación en el producto. Cada tarea puede corresponder a un determinado oficio. El flujo de producto se aproxima al de tipo funcional.

Ejemplos de este tipo de producción: carpinterías y talleres de reparación de vehículos.

#### ***Producción por lotes***

Se caracteriza por un flujo de producto funcional y se distingue de la producción artesanal por el mayor tamaño del lote, la mayor uniformidad de los productos y la mayor interconexión entre las tareas de producción.

Utiliza máquinas de uso general y trabajadores altamente cualificados que dominan una especialidad. Normalmente los costos fijos son bajos y los costos variables son altos. El costo por unidad es también elevado. Resulta la alternativa más adecuada cuando al producto le falta estandarización o cuando el volumen de producción es

---

bajo. Esta forma de producir es común en las etapas iniciales de los ciclos de vida de los productos y en los productos que se adaptan a las necesidades del cliente.

Almacenes de distribución, hospitales, universidades y edificios de oficinas a menudo se diseñan siguiendo este esquema.

### ***Producción en masa***

Se caracteriza por un flujo de producto secuencial en línea recta. Por lo tanto utiliza máquinas de uso específico y puestos de trabajo poco cualificados. En consecuencia, tienen costos fijos elevados y costos variables bajos. El costo por unidad es relativamente bajo en comparación con la producción por lotes. La organización es mecánica.

Algunos productos fabricados en este proceso son los automóviles, las calculadoras de bolsillo y los bolígrafos.

### ***Producción continua***

Este tipo de producción también utiliza un flujo de producto secuencial en línea recta pero con mayor volumen de producción que la producción en masa, poca diferenciación en sus productos, mayor dependencia de los bienes de equipo, y un uso más intenso de equipos de manipulación y transformación de materiales.

Generalmente se procesan materiales que luego son transformados mediante otro tipo de procesos productivos. Los costos fijos y variables son altos. El costo por unidad es bajo.

Entre los productos fabricados por este tipo de proceso se encuentran los productos químicos, el papel, el vidrio y la cerveza.

### ***Producción Just in Time***

Utiliza un flujo de producto secuencial en forma de U. Cuenta con máquinas de uso general y trabajadores polivalentes y cualificados. Este proceso permite fabricar de forma eficiente y con una elevada calidad un alto volumen de productos en pequeños lotes para satisfacer las diferentes necesidades de un mercado de masas.

Normalmente en este tipo de producción los costos fijos son bajos, los variables altos y el costo unitario es bajo.

## Automatización

La automatización facilita la flexibilidad en las líneas de fabricación, ya que el control por ordenador reduce el tiempo de preparación de máquinas, haciéndolas más flexibles.

Las máquinas pueden llegar a ser muy caras y es frecuente que presenten problemas de compatibilidades.

Hayes y Wheelwright (1979) presentaron una matriz de proceso-producto que es comúnmente presentada en la literatura.

Estructura de proceso Etapa de ciclo de vida de proceso	I Volumen bajo, baja estandarización, uno de un tipo	II Productos múltiples, volumen bajo	III Pocos productos principales, volumen mayor	IV Volumen alto, alta estandarización, comodities
I Flujo mezclado (tienda por pedido)	Imprenta comercial			Nulo
II Flujo de línea desconectada (por lotes)	Equipo pesado			
III Flujo de línea conectada (línea de ensamble)			Ensambladora de autos	
IV Flujo continuo	Nulo	Refinería de azúcar		

**Fig. 6** Matriz de proceso-producto de Hayes y Wheelwright  
Fuente: Koho, 2010. [17]

Esta matriz tiene dos dimensiones, la estructura del producto y del proceso. La estructura del proceso representa diferentes tipos de sistema de producción desde el flujo mezclado hasta el flujo continuo. La matriz tiene diferentes usos pero puede ser útil para formular una adecuada estrategia de producción. Igualmente puede ser útil para definir una ventaja competitiva.

---

## I.4 MEJORA DE PRODUCCIÓN

Una mejora de un sistema de producción puede ser definida de acuerdo a Koho [17] como “la oportunidad o posibilidad de cambiar o mejorar un sistema de producción, subsistema o características para mejorar el sistema y el desempeño de la producción”.

### I.4.1 Tipos de mejora de producción

Las mejoras de producción pueden ser consideradas y clasificadas de acuerdo a la base en que se enfoque la mejora y la frecuencia e impacto de la misma.

En la función de producción se lleva a cabo el proceso de transformación de *entradas* hacia *salidas* con la ayuda de diferentes recursos o factores de producción. Con base en esta definición algunos autores plantean diferentes aspectos de mejora que pueden ser identificados.

Pueden identificarse tres elementos básicos de la operación del negocio y objetos de mejora: productos, operaciones y recursos. [17]

En referencia al producto se incluye la materia prima, subproductos, producto final, etc. Los recursos se refieren a todo lo que hace posible el proceso como la energía, equipo, personal, etc.

De acuerdo al contexto del área de producción, planteada en la sección anterior, Koho [17] define una clasificación un poco diferente que comprende mejoras en la arquitectura del producto, en el proceso de producción, en el sistema de producción y en el producto final.

Formas de mejora pueden también clasificarse de acuerdo a su frecuencia, impacto y escala de la mejora. Normalmente en la literatura, aunque a veces con diferentes términos, se clasifican en:

- Mejora continua
- Mejora de avance

La mejora continua tiene su base en pequeñas y consistentes mejoras que ocurren de manera frecuente.

---

La mejora de avance busca un mayor cambio en la forma de operación y desempeño de la empresa. Este tipo de mejoras normalmente requieren una mayor inversión en tecnología y equipo. Estos dos tipos de mejora pueden ser combinados para alcanzar un mejor desempeño.

Una clasificación similar se relaciona con la estrategia de producción. Para definir una estrategia de producción se deben considerar las siguientes ocho decisiones de operaciones o categorías de decisión, las cuales son: [26]

1. Capacidad (cantidad, tipo).
2. Instalaciones (localización).
3. Tecnología (nivel de automatización, compatibilidad, sistema de producción, riesgo).
4. Integración vertical (alcance, riesgo).
5. Fuerza de trabajo (habilidades, paga, motivación, especialización).
6. Calidad (prevención, diseño, gestión, control, trazabilidad).
7. Organización (estructura, informes, políticas, estilo administrativo).
8. Control y planificación de los materiales y de la producción (programación, reglas de decisión, gestión de materiales, tamaño de los inventarios, control de inventarios, uso de normas técnicas).

Estas categorías representan las variables estratégicas sobre las que tiene competencia el área de operaciones o producción, y se espera que dichas decisiones estén alineadas entre sí y que correspondan a una estrategia de producción, ya que afectan el grado de funcionamiento de la organización a corto y largo plazo.

Las primeras cuatro categorías mencionadas son consideradas del tipo “*estructural*” debido a su impacto en el largo plazo y a la relativa irreversibilidad de la inversión en las mismas. Las últimas cuatro son llamadas de “*infraestructura*” su efecto acumulativo podría ser tan difícil y costoso de cambiar como el relativo a las primeras cuatro.

Las categorías de decisión están interrelacionadas y su efecto acumulativo afecta a la organización como un todo, y de manera particular a las otras áreas funcionales.

De esta forma, las mejoras de avance pueden ser relacionadas con las decisiones *estructurales* en la estrategia de producción, mientras que la mejora continua puede relacionarse con las decisiones *infraestructurales*.

---

## **I.4.2 Fases del proceso de mejora de producción**

Las bases generales para la mayoría de los procesos de mejora en producción se dividen en cinco fases: [17]

1. Analizar y evaluar la situación actual
2. Identificar o definir los objetivos de la mejora
3. Identificar o planear los cambios y mejoras requeridas y relevantes
4. Ejecutar el plan de mejora, realizar los planes de cambio
5. Establecer y estandarizar el desempeño y situación de la mejora

La primera fase del proceso involucra considerar el diseño, desempeño y operación del sistema y del proceso de producción.

La segunda fase involucra identificar los objetivos, los cuales pueden ser presentados en términos de objetivos cuantitativos de producción como el costo y la calidad.

En la tercera fase se identifican los cambios requeridos comparando el desempeño o estado deseado con el actual.

La última fase debe considerar la nueva forma de trabajar para continuar con la mejora adoptada además de que provee una base para futuras mejoras.

Este estudio considera lo anterior para la identificación de la mejora de producción tomando en cuenta las tres primeras fases, para después implementar la mejora considerada mediante el paquete de simulación. Los resultados arrojados por la simulación pueden sustituir y complementar, en este caso, la fase cinco.

La primera fase donde se analiza la situación actual, se llevará a cabo mediante la definición del sistema y construcción del modelo conceptual, para poder establecer el modelo de simulación actual y partir de él para identificar una mejora relevante. Posteriormente se modificará el modelo con los cambios requeridos para obtener un nuevo modelo computacional que incluya la mejora definida.

---

## CAPÍTULO II SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

### II.1 LA SIMULACIÓN

#### II.1.1 Conceptos básicos

La simulación ha sido una de las herramientas más importantes y útiles para analizar diversos aspectos de procesos y sistemas que pueden llegar a ser muy complejos.

Existen diversas definiciones de lo que es la simulación, una de ellas se señala a continuación:

*“Simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema o evaluar varias estrategias (dentro de los límites impuestos por un criterio o por un conjunto de criterios) para la operación del sistema.” [24: 12]*

Igualmente se puede definir un **sistema** de la siguiente forma:

*“Un sistema se define como un grupo o conjunto de objetos unidos por alguna forma de interacción o interdependencia, para realizar una función específica.” [24: 12]*

Por otro parte, un **modelo** es una representación que ayuda a entender mejor el sistema.

Los modelos pueden clasificarse en dinámicos o estáticos, dependiendo de cómo representan el sistema en referencia al tiempo, a lo largo de un periodo o en un instante de tiempo, respectivamente.

En el primer caso se supone que la naturaleza del sistema permite cambios de estado continuos, determinados por cambios continuos en los valores de las variables que representan el estado del sistema, mientras que en el segundo los cambios sólo pueden tener lugar en instantes discretos en el tiempo. [2: 52]

---

También se clasifican en deterministas o estocásticos; los deterministas no contienen variables aleatorias a diferencia de los estocásticos.

Un modelo se compone de la combinación de diferentes elementos como:

- a) Componentes
- a) Variables
- b) Parámetros
- c) Relaciones funcionales
- d) Restricciones
- e) Funciones objetivo

Los componentes son elementos que conforman al sistema.

A los parámetros se les asignan valores representativos del sistema, que no cambian a lo largo del tiempo, mientras que a las variables se les asignan valores que la forma de la función permite.

En un modelo existen variables exógenas que se originan fuera del sistema y variables endógenas producidas internamente.

Las relaciones funcionales muestran el comportamiento de las variables entre componentes de un sistema.

Las restricciones son limitaciones, propias del sistema, a las variables.

La función objetivo define los objetivos del sistema.

### **II.1.2 Proceso de simulación**

En general los pasos para realizar una simulación son los siguientes:

**1. Definición del sistema.** Se define el sistema fijando los objetivos del estudio, definiendo los límites o fronteras del modelo, las restricciones e interrelaciones en el sistema.

**2. Creación del modelo.** Se debe determinar qué aspectos o partes del sistema se deben incluir y qué tan detallado debe ser, se realiza la reducción del sistema real a un diagrama de flujo lógico.

---

Existen varias formas de estructurar el modelo conceptual. Una de ellas es con diagramas de flujo, que son una representación ordenada de las actividades que se llevan a cabo.

**3. *Recolección de datos.*** Se identifican los datos necesarios que el modelo requiere para la simulación.

**4. *Translación del modelo.*** Se elige un lenguaje de programación para la simulación.

**5. *Validación.*** Se comprueba que el modelo es una representación del sistema actual.

**6. *Experimentación.*** Corrida de simulación para generar datos deseados, se puede observar el comportamiento del sistema con alguna modificación.

**7. *Interpretación.*** Se interpretan los datos arrojados por la simulación.

**8. *Implantación.*** Uso del modelo y resultados.

**9. *Documentación.*** Se registran los pasos del proyecto, sus resultados, además de la documentación del modelo y de su uso.

### **II.1.3 Ventajas de la simulación**

El uso de la simulación es una herramienta que tiene grandes ventajas dentro de las cuales están:

- No se necesita modificar el sistema. Se pueden tomar decisiones sin comprometer recursos, primero se verifica que la decisión sea correcta, y después se implementa la propuesta.
- Tiempo. Se analiza el sistema en el momento deseado, se simulan procesos que tardarían mayor tiempo.
- Entender problemáticas. En la simulación se pueden reproducir los procesos para poder entender a profundidad la problemática que existe.
- Comprensión del proceso. Al trabajar el sistema con una simulación se desarrolla un mayor entendimiento del mismo, de esta manera se pueden proponer soluciones mejores.

- 
- Analizar alternativas. Se obtienen soluciones en caso de modificación del sistema o elección de la mejor alternativa.

## II.2 LENGUAJES DE SIMULACIÓN

Existen los lenguajes de programación de propósito general como FORTRAN, que requieren un tiempo considerable para aprender sus características y uso eficaz, y los lenguajes de simulación de propósito especial como GPSS, SIMAN y otros.

Cualquier lenguaje de programación algorítmico puede usarse para la modelación de simulación, pero aquéllos lenguajes diseñados específicamente para el propósito de simulación por computadora proporcionan ciertas características útiles [24: 123]:

- a) Reducen la tarea de programación
- b) Proporcionan una guía conceptual
- c) Ayudan a definir las clases de entidades dentro del sistema
- d) Proporcionan flexibilidad de cambios
- e) Suministran un medio de diferenciación entre entidades de la misma clase mediante características o propiedades
- f) Describen la relación de las entidades entre sí y con su ambiente común
- g) Ajustan el número de entidades conforme varían las condiciones dentro del sistema

### II.2.1 Estrategias de simulación

Los lenguajes de simulación para la simulación de sistemas discretos se eligen con base en lo atractivo de sus características, aunque hay una de ellas que resulta determinante e impone la naturaleza del lenguaje, es la estrategia, enfoque o visión del mundo inherente al lenguaje, utilizada para la selección del «suceso siguiente» y la gestión del tiempo [2: 120].

Una clasificación de los procedimientos de control de tiempos de los lenguajes de simulación de sucesos discretos, según la estrategia seguida en la selección de sucesos, es [2]:

1. Programación de Sucesos (Event Scheduling).
2. Exploración de Actividades (Activity Scanning).
3. Interacción de Procesos (Process Interaction).

---

Con base en estas estrategias se clasifican los lenguajes de simulación, por ejemplo para la programación de sucesos se puede utilizar GASP (II, IV), SIMSCRIPT, SLAM, SIMAN, para la exploración de actividades AS, CSL, ESP, SIMON y para la interacción de procesos GPSS, SIMSCRIPT, SIMAN, SIMULA, etc.

La estrategia de programación de sucesos (event scheduling, ES) implica una secuencia de sucesos no condicionados a lo largo del tiempo. La operación del sistema se considera como una secuencia temporal, ordenada de sucesos no condicionados.

El procedimiento ES de control del tiempo selecciona de la lista de sucesos aquel cuyo tiempo de ocurrencia es el más próximo, resolviendo los empates por las prioridades asignadas o por defecto, actualiza el tiempo del reloj de simulación, igualando su valor al del instante en que ocurre el suceso, y llama a la rutina correspondiente al tratamiento del suceso. [2: 123]

La estrategia de exploración de actividades (activity scanning, AS) elige el suceso siguiente basándose en ambos, el tiempo programado para la ocurrencia del suceso y la verificación de las condiciones. El concepto básico es la actividad, que conceptualmente es una transición de estado del sistema que requiere un período de tiempo. Una actividad se representa habitualmente mediante dos sucesos distintos que marcan respectivamente el principio y el final de la misma. [2: 123]

La estrategia de interacción de procesos (process interaction, PI) tiene características híbridas que la relacionan tanto con la estrategia ES como con la AS. Este enfoque contempla el progreso de las componentes del sistema a través de una secuencia de pasos, o procesos, cada uno de los cuales puede tener dos posibles componentes, un segmento de condición, cuya ejecución identifica si se puede pasar a ejecutar la segunda componente, un segmento de acción. [2]

### **II.3 SIMULACIÓN DE EVENTOS DISCRETOS**

En este tipo de simulación se usan modelos dinámicos, estocásticos y discretos. Las variables de estado cambian en instantes no periódicos de tiempo, es decir que no están dirigidos por un reloj, sino con la ocurrencia de algún evento.

#### **II.3.1 Elementos de la simulación de eventos discretos**

---

Los principales elementos que intervienen en la simulación de eventos discretos se enlistan a continuación.

### **Eventos**

Un evento es una acción que puede cambiar el estado del modelo. Se pueden clasificar en:

- Eventos condicionados. Se deben cumplir dos o más condiciones para iniciarse.
- Eventos no condicionados. No dependen de condiciones.

También se pueden clasificar en:

- Eventos endógenos o internos. Causados por condiciones en el modelo.
- Eventos exógenos o externos. Son externos al modelo.

### **Entidades**

Son el conjunto de componentes del sistema pueden ser máquinas, equipos, producto, clientes, etc.

Existen dos tipos principales de entidades:

- Entidades permanentes. Son elementos estáticos a lo largo de la simulación.
- Entidades temporales. Se crean y destruyen a lo largo de la simulación. Un ejemplo de este tipo serían los productos que se procesan.

### **Atributos**

Caracterizan a la entidad, representan propiedades de la misma, como tamaño, prioridad, posición, etc.

### **Actividades**

Éstas se llevan a cabo en el sistema mediante entidades. Su duración debe ser especificada mediante una distribución de probabilidad.

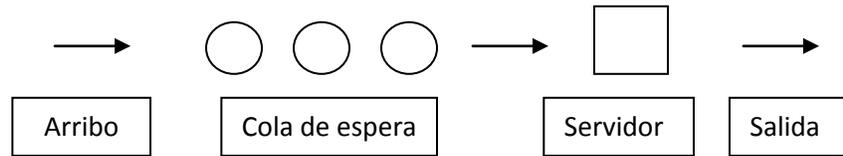
### **Colas**

Están determinadas por una sucesión lógica de entidades. Por ejemplo una cola de espera de clientes.

---

Los eventos de llegada, de servicio y de salida involucran colas de espera.

Un sistema sencillo de simulación discreta puede involucrar un servidor que atiende clientes en una cola.



**Fig.7** Sistema de un servidor y una línea de espera

Existen casos donde pueden existir varios servidores con una sola línea de espera o varios servidores con varias líneas de espera.

### **El tiempo reloj**

Registra los puntos en el tiempo en que los eventos ocurren. Una forma de actualizar el reloj es colocar las manecillas a la hora en que se producirá el siguiente evento. Esta estrategia de simulación es orientada a eventos.

## **II.4 LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS PRODUCTIVOS**

Los sistemas de evento discreto pueden modelar muchos de los fenómenos que enfrentan los responsables de la administración de los procesos productivos en una empresa. [20]

Se pueden distinguir en el mercado dos tipos de paquetes para simulación de evento discreto: los de propósito general y los orientados hacia alguna aplicación o sector industrial específico.

El área productiva ha sido una de las áreas de mayor aplicación en la simulación de eventos discretos.

Las principales aplicaciones de la simulación de evento discreto en manufactura se relacionan tanto con el diseño y disposición de las instalaciones como con la planeación y el control de las actividades productivas. Las aplicaciones relacionadas con el diseño y disposición de las instalaciones incluyen la evaluación de decisiones sobre el número, tipo y disposición de máquinas y equipo, la localización y tamaño

---

de los diferentes espacios para el material en proceso, y los requerimientos de transportadores y equipo de apoyo, entre otras.

En cuanto a las aplicaciones relacionadas con la planeación y el control de la producción, se puede mencionar la comparación de diferentes políticas para la programación y secuenciación de las órdenes de producción, para la administración de inventarios, para la asignación de recursos, o también para evaluar el efecto de diferentes políticas de mantenimiento y renovación de equipos. [20: 6]

La simulación debería permitir obtener, según los casos, un mejor aprovechamiento de los recursos de los que se dispone, un incremento en los resultados del proceso productivo, una mejor organización o una mejor comprensión de los procesos, lo cual es esencial para lograr un adecuado nivel de competitividad en un entorno de producción y de servicios fuertemente condicionado por la globalización de las actividades económicas. [12: 36]

Es posible establecer que la simulación es uno de los ejes principales en la solución de problemas de planificación o de gestión de recursos no sólo en el área de producción, sino en cualquier área funcional de la empresa.

En este trabajo se va a emplear un paquete de simulación para simular el área de producción de una empresa para después realizarle una mejora y medir el impacto en determinadas variables de salida.

Los resultados arrojados por la simulación van a servir para ser utilizados en la valuación de la empresa y así poder conocer el impacto que tiene esa mejora en el valor de la misma.

## **II.5 SOFTWARE DE SIMULACIÓN ARENA**

Arena combina la facilidad de uso de los simuladores de alto nivel con la flexibilidad de los lenguajes de simulación, además que también puede usar características de los lenguajes de programación de propósito general. [16]

En este trabajo se hace uso del software de simulación Arena ya que tiene las siguientes ventajas:

- Es un software que puede activarse en su versión académica con propósitos de enseñanza e investigación.
- Cuenta con un manual de usuario inteligible.
- La construcción de los modelos es de forma accesible.

- 
- Cuenta con flexibilidad para hacer amplios cambios al sistema.
  - Los reportes de salida se presentan en forma sencilla y organizada.

Este tipo de software es utilizado principalmente en simulación de procesos para negocios, simulación de centros de llamadas, simulación de manufactura, simulación de canales de suministro, logística y almacén.

Otra característica importante es que incluye un procesador de animación que se despliega durante la simulación para poder observar el comportamiento del sistema, sirviendo de cierta manera en la comprobación de las similitudes del modelo con la realidad. Por otra parte, cuenta con gráficas y trazado de datos que también se despliegan durante la simulación.

### **Reporte de resultados**

El reporte de salida presenta diversos datos importantes que se clasifican por entidades, procesos, colas, recursos, transportadores y otros especificados por el usuario.

Una sección muy importante es la sección de entidades que se especifica en tres grupos: tiempo, costo y otros.

Las estadísticas reportadas por tiempo se presentan en diversos aspectos como el tiempo en que no hay valor añadido, tiempo de valor añadido, tiempo de espera, tiempo de transferencia y el tiempo total que la entidad pasa en el sistema o también llamado tiempo de ciclo.

El costo se presenta en los mismos parámetros del grupo tiempo, por lo que si se desean estadísticas de costo es necesario proporcionar diversos datos como el costo en que la entidad incurre cuando pasa tiempo en una actividad de valor añadido, cuando está en una actividad de espera o de transferencia.

En otros se muestran parámetros importantes como el número de entidades de entrada, de salida y el trabajo en proceso de cada entidad.

La sección de recursos se divide en uso y costo. Existen diversos parámetros que miden el uso de los recursos como por ejemplo la *utilización programada* que reporta el tiempo promedio de unidades del recurso que están ocupadas, divididas entre el tiempo promedio de unidades del recurso que están programadas. En otras palabras este parámetro reporta que tan ocupado estuvo el recurso en el tiempo en que se encontraba disponible.

---

Los resultados se presentan con base en los siguientes parámetros:

*Promedio.* Si se hacen múltiples réplicas, y las estadísticas son iniciadas entre réplicas, entonces el valor reportado es el promedio de los valores de las réplicas.

*Mitad del intervalo.* Los resultados de la simulación se interpretan con un intervalo de confianza del 95%, donde en 95% de repeticiones de la simulación el intervalo formado contendrá o cubrirá el verdadero valor esperado.

*Promedio mínimo.* El promedio más pequeño en todas las réplicas.

*Promedio máximo.* El promedio más grande en todas las réplicas.

*Valor mínimo.* El valor más pequeño observado en todas las réplicas.

*Valor máximo.* El valor más grande observado en todas las réplicas.

---

## CAPÍTULO III EL VALOR DE LA EMPRESA

### III.1 CONCEPTO DEL VALOR

La creación de valor se concibe como una fusión compleja entre elementos como la tecnología, el conocimiento creado, y que forma parte de cada empleado, la innovación y la creatividad para la renovación continua, y se expresa a través de la utilidad obtenida de la operación de la empresa producto del capital invertido de la misma. [21: 12]

Al medir el valor de una empresa se mide su desempeño económico, el cual es un concepto mucho más amplio que las medidas tradicionales de rendimiento como las razones financieras. Es posible que cualquier decisión en la empresa conduzca a crear o destruir valor.

Una empresa puede tener diferente valor para diferentes personas o con base en diferentes puntos de vista. Una valoración puede realizarse de diferentes formas. En general, los diferentes métodos de valoración pueden clasificarse de la siguiente forma:

BALANCE	CUENTA DE RESULTADOS	MIXTOS (GOODWILL)	DESCUENTO DE FLUJOS	CREACIÓN DE VALOR	OPCIONES
Valor contable Valor contable ajustado Valor de liquidación Valor sustancial Activo neto real	Múltiplos de: Beneficio Ventas EBITDA Otros múltiplos	Clásico Unión de expertos Contables europeos Renta abreviada Otros	Flujo de Caja Libre Flujo de caja acciones Dividendos Flujo de caja de capital APV	EVA Beneficio económico Valor añadido de caja CFROI	Black y Scholes Opción de invertir Ampliar el proyecto Aplazar la inversión Usos alternativos

**Tabla 1** Principales métodos de valoración

Fuente: Fernández, 2008. [8]

#### Método del Balance y cuenta de resultados

Los métodos de valoración basados en el balance consideran el valor de una empresa con base en sus activos. Considera el valor de la empresa estáticamente, pues no toma en consideración el valor de los flujos de efectivo futuros o algunos otros factores importantes como la competitividad o la situación del sector.

---

Los métodos basados en la cuenta de resultados sólo consideran el valor de la empresa con base en las utilidades o en las ventas.

Este método realiza comparaciones entre empresas del mismo sector para tomar decisiones, sin embargo ninguna empresa es igual a otra por lo que los resultados arrojados por este método deben ser tomados con cautela.

Cuando las empresas son medidas bajo estándares puramente contables, puede crearse la ilusión de que se está creando valor cuando se presentan resultados positivos; sin embargo, esta concepción puede ser errónea ya que se pueden tener resultados contables positivos y la empresa puede estar destruyendo valor.

### **Método Goodwill**

Los métodos mixtos siguen una combinación de enfoque estático y dinámico, pues por una parte se considera el valor de los activos o de las ventas y por otra, se considera el valor que puede generar la empresa en el futuro o el posible valor de los activos intangibles que se posean.

Este método es llamado también como crédito mercantil, el cual es un monto extra al valor en libros de la empresa porque está basado en factores como el prestigio.

Existen además otros intangibles que pueden considerarse como la marca o la cartera de clientes.

### **Descuento de Flujos**

Existen diversos métodos para obtener el valor de una empresa mediante descuento de flujos de efectivo, cualquiera de estos métodos debe dar un valor único del valor de la empresa.

Todos los métodos de flujo de efectivo involucran pronósticos futuros de flujo de efectivo que posteriormente se descuentan a su valor presente a una tasa que refleje su riesgo. Parten de la siguiente expresión general:

$$V = \frac{CF_1}{1+K} + \frac{CF_2}{(1+K)^2} + \frac{CF_3}{(1+K)^3} + \dots + \frac{CF_n+VR_n}{(1+K)^n} \quad \dots (3.1)$$

---

## Creación de valor

En referencia a la creación de valor, el concepto del valor de mercado agregado “MVA” (Market value added) mide el valor creado por una compañía de la siguiente forma:

$$MVA = VM - VCA \quad \dots (3.2)$$

Donde VM se refiere al valor de mercado y VCA se refiere al valor contable de las acciones. El MVA es un valor agregado para los accionistas.

Por otra parte el método del “EVA®” (Economic Value Added) o del valor económico agregado dice que podemos medir cuánta riqueza es creada o destruida en cada periodo de la vida de una empresa. [7]

El EVA® es el valor absoluto que resulta de restar al retorno del capital en términos absolutos, el costo de capital en términos absolutos. [7:475]

Matemáticamente el EVA® se expresa de la siguiente forma:

$$EVA_t = EBIT_t * (1 - t) - WACC_t * CI_t \quad \dots (3.3)$$

Donde:

$EBIT_t$ = (Earnings before interest and taxes) resultado operativo antes de intereses e impuestos en el periodo t

t= tasa impositiva

$WACC_t$ = (Weight average cost capital) costo promedio ponderado de capital del periodo t

$CI_t$ = Capital invertido en periodo t el cual se define como sigue:

$$CI_t = CT_t + AFN_t - OAO_t \quad \dots (3.4)$$

$CT_t$ = Capital de trabajo en t

$AFN_t$ = Activo fijo neto en t

$OAO_t$ = Otros activos operativos en t

---

El valor de la empresa puede ser calculado mediante la expresión (3.3) considerando la actualización de cada periodo del EVA<sup>®</sup> como sigue:

$$VE = \sum_{j=1}^n \frac{EBIT*(1-t) - WACC*CI}{(1+WACC)^j} + \frac{EBIT*(1-t) - WACC*CI}{WACC(1+WACC)^n} + CI \quad \dots (3.5)$$

En la ecuación anterior el primer término representa un periodo de proyección explícito, donde se especifican los flujos de efectivo hasta el periodo n. El segundo término es el valor de continuidad del negocio expresado como una perpetuidad.

De todo lo anterior se puede decir que una empresa crea valor cuando el valor presente del EVA<sup>®</sup> que generará en cada periodo t es positivo. Esto se cumple cuando:

$$\frac{EVA}{(1+WACC)^j} > 0 \quad \dots (3.6)$$

### III.1.1 Definición del WACC

Los flujos generados por los activos de una empresa deben ser descontados al costo promedio de los recursos que la empresa utiliza para financiar esos activos o de igual forma a la tasa que es exigida por su pasivo, que está en función del costo de oportunidad de esos recursos para niveles idénticos de riesgo. Ese costo es el WACC.

La fórmula general recomendada para estimar el WACC es:

$$WACC = \left(\frac{VD}{VE}\right) (1 - t) * k_d + \left(\frac{VP}{VE}\right) * k_p + \left(\frac{VC}{VE}\right) * k_s \quad \dots (3.7)$$

Donde:

VD= valor de mercado de la deuda

VE= valor de mercado de la empresa siendo valuada

t= tasa impositiva

k<sub>d</sub>= costo de la deuda antes de impuesto

VP= valor de mercado del capital preferente

k<sub>p</sub>= costo del capital preferente

VC= valor de mercado del capital accionario

---

$k_s$ = costo del capital común

Por otra parte:

$$VE = VD + VP + VC \quad \dots (3.8)$$

En la anterior fórmula, para el cálculo del WACC, la empresa podría utilizar como VE su valor de mercado en caso de que cotizara en bolsa, pero por otra parte si no se cuenta con él se necesitaría conocer el WACC para realizar su cálculo por lo que surge un problema de circularidad.

En la literatura normalmente se utilizan los siguientes pasos para la obtención del WACC: [6]

1. Establecer las ponderaciones basadas en valores de mercado para toda la estructura de capital.
2. Estimar el costo de oportunidad para toda financiación distinta a los recursos propios.
3. Estimar el costo de oportunidad de la financiación de los recursos propios.

### **Estructura de capital**

Para establecer la participación de los elementos que componen la estructura de capital, una primera opción es definir el porcentaje de participación de la deuda y del capital común, estimado a partir de su valor en libros.

Existe además, la siguiente combinación de métodos:

- Estimar la estructura de capital de una empresa basándose en los valores de mercado actuales
- Examinar la estructura de capital de empresas similares
- Analizar el objetivo implícito o explícito de la dirección, acerca de la financiación de la empresa, y sus implicaciones en el objetivo de estructura del capital

### **Costo de financiación con recursos ajenos**

Se deben conocer los diferentes instrumentos de deuda que la componen como deuda bancaria, bonos cupón cero, acciones preferentes, etc.

---

Las deudas bancarias de largo plazo, se incluyen en su valor nominal, pero las deudas comerciales que financien necesidades temporales no deben incluirse en la determinación del costo.

Por ejemplo el costo de las acciones preferentes, que son perpetuas, no redimibles y no convertibles, se puede calcular como sigue:

$$k_p = \frac{Div}{P}$$

Donde

$k_p$  = Costo de las acciones preferentes

$Div$  = Dividendo prometido por la acción preferente

$P$  = Precio de mercado de las acciones preferentes

### **Costo de financiación de recursos propios**

Un método ampliamente utilizado es el *Capital Asset Pricing Model (CAPM)*, un modelo de valuación de activos de capital, que proporciona parámetros para la estimación de tasas de descuento. El costo de oportunidad del capital común puede ser estimado con este modelo:

$$k_s = r_f + \beta(r_m - r_f) \quad \dots (3.9)$$

Donde

$k_s$  = Costo de oportunidad del capital común

$r_f$  = Tasa libre de riesgo

$r_m$  = Rendimiento del mercado

$(r_m - r_f)$  = Prima de riesgo del mercado

$\beta$  = Riesgo sistemático de la empresa

La beta mide la sensibilidad del rendimiento de la empresa a los rendimientos del mercado.

Existen ciertos supuestos del CAPM:

1. Los mercados de capitales son eficientes. La información relevante siempre se encuentra a disposición de los inversionistas y ésta se refleja en los precios.
2. Los inversionistas tienen aversión al riesgo.

- 
3. Los inversionistas tienen las mismas expectativas sobre la distribución de la rentabilidad futura de todos los activos.
  4. No existen impuestos ni costos de transacción para prestar o tomar prestado a la tasa libre de riesgo.
  5. Todos los inversionistas tienen el mismo horizonte temporal

### III.2 MÉTODO DEL APV

Las metodologías que usan el descuento de flujos de efectivo difieren en los detalles de su ejecución, más puntualmente en como informan el valor creado o destruido por manejos financieros, en oposición a operaciones. [19:145]

El enfoque del método del “APV” (Adjusted Present Value) consiste en analizar el manejo financiero separadamente y después agregarlo al del negocio.

El método “APV” considera separadamente el valor de la empresa sin deuda, como si fuera financiada únicamente con capital común y después le agrega el valor de todos los efectos financieros.

Lo anterior se puede expresar de la siguiente manera: [21]

$$VE_t = VO_t + VF_t \quad \dots (3.10)$$

Donde:

$VO_t$ =Valor de operación de la empresa en t

$VF_t$ =Valor de los efectos financieros en t

Por otra parte:

$$VO_t = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{FCF_i}{(1+k_u)^i} + VC \quad \dots (3.11)$$

En la ecuación anterior el segundo término determina el valor continuo de la operación como una perpetuidad después de que termina el periodo n del primer término.

---

En la ecuación anterior el valor de continuidad esta dado por:

$$VC = \frac{[\overline{FCF}_n / (k_u - g)]}{(1 + k_u)^n} \quad \dots(3.12)$$

Donde g denota la tasa de crecimiento para una corriente de flujos perpetua.

El término  $FCF_i$  se refiere al flujo de caja libre (Free Cash Flow) el cual se determina de la siguiente forma:

$$FCF_i = EBIT_i - T_i + d_i \pm \Delta CT \pm \Delta AFN \quad \dots (3.13)$$

Donde:

$T_i$ =Impuestos sobre EBIT del periodo i

$d_i$ =depreciación del periodo i

$\Delta CT$ =cambio en el capital de trabajo del periodo i

$\Delta AFN$ = cambio en activos fijos netos del periodo i

El FCF representa el flujo de fondos que genera la empresa independientemente de cómo es financiada, cómo si se financiara enteramente con capital propio.

El método del APV descuenta el FCF con el rendimiento exigido a una empresa no apalancada o sin deuda ( $k_u$ ). Este rendimiento se calcula mediante la ecuación del CAPM, pero con un beta desapalancado.

La fórmula para obtener el beta desapalancado se define como:

$$\beta_u = \frac{\beta}{1 + \frac{D(1-t)}{E}} \quad \dots (3.14)$$

Con el beta desapalancado la fórmula del CAPM (3.9) se expresa:

$$k_u = r_f + \beta_u (r_m - r_f) \quad \dots (3.15)$$

---

El valor de los efectos financieros se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$VF_t = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{FI_i}{(1+k_d)^i} + VC^D \quad \dots (3.16)$$

Donde  $FI_i$  se refiere a los flujos generados por la deuda de la empresa:

$$FI_i = D_i * t \quad \dots (3.17)$$

$D_i$  representa los pagos por servicio de la deuda en el año  $i$ .

### **III.3 MODELO PROBABILÍSTICO DE FLUJO DE CAJA Y SIMULACIÓN MONTECARLO**

El futuro de una determinada decisión que influye en el desempeño económico de una empresa difícilmente puede conocerse con precisión, pues una serie de factores externos pueden influir en los resultados. En el mundo económico actual existe casi siempre la incertidumbre.

Es por ello que pueden existir situaciones donde las magnitudes que definen la valuación de una empresa se conocen en términos de probabilidad pues existe aleatoriedad.

En la práctica resulta difícil especificar las probabilidades de los posibles flujos de efectivo, así como su magnitud, en cada uno de los sucesivos periodos de tiempo. Por ello en la práctica se admiten leyes de probabilidad acerca de dichos flujos sin hacer pruebas de adherencia. [25]

Para definir la función de probabilidad de  $FCF_i$  se hará uso de un modelo probabilístico, para explicar el comportamiento estocástico de los flujos de efectivo, complementado con el método de simulación Montecarlo.

---

### III.3.1 Modelo probabilístico

Suárez [25], establece que algunos modelos de probabilidad que resultan útiles, en el análisis del comportamiento de flujos de efectivo, sobre todo debido a la falta de información son:

- la distribución beta
- la distribución triangular
- la distribución rectangular

Estas distribuciones son utilizadas cuando se definen tres escenarios. Es una forma práctica de proceder que consiste en especificar para cada flujo únicamente tres posibilidades, los cuáles son:

1. Flujo de efectivo pesimista ( $FE_t^p$ ). El menor flujo que se puede generar en un periodo  $t$  en el peor de los casos.
2. Flujo de efectivo más probable ( $FE_t^m$ ). El flujo más probable en el periodo  $t$ .
3. Flujo de efectivo optimista ( $FE_t^o$ ). El mayor flujo que se puede generar en el periodo  $t$ .

El flujo de efectivo en este trabajo será el flujo de efectivo libre por lo cual se denotará como  $FCF_t^p$ ,  $FCF_t^m$  y  $FCF_t^o$  para cada caso.

La distribución beta II es de interés pues puede describir un amplio rango de condiciones sesgadas a la izquierda o a la derecha de diferentes varianzas. Es una distribución muy flexible para representar variabilidad en un rango definido. [4]

El uso de la distribución beta se refuerza cuando la asimetría es un factor importante en el problema bajo consideración. Herrerías [15] menciona que es conveniente pedirle al experto información sobre la simetría de la distribución, o bien sobre la confianza que tiene del valor más probable.

#### Distribución Beta

La notación para esta distribución es  $X \sim Be(\alpha, \gamma)$  para  $0 \leq X \leq 1$ , es por ello que esta distribución es con frecuencia un modelo adecuado para describir el comportamiento aleatorio de los porcentajes.

Se puede reescalar la distribución a un intervalo  $(a, b)$  al hacer:

---


$$X' = a + (b - a)X \quad \dots(3.18)$$

Donde  $X' \sim Be(\alpha, \gamma)$  con  $a \leq X' \leq b$ , los parámetros  $a$  y  $b$  son la escala en la distribución. Algunos autores la definen como distribución beta II.

Para el caso de aplicación, en el presente trabajo la variable  $a$  estará definida como  $FCF_t^p$ , determinada para el caso del escenario pesimista, y  $b$  como  $FCF_t^o$ , determinado para el caso del escenario optimista.

La representación gráfica de la ley beta representa una forma acampanada, la cual puede ser simétrica o asimétrica. La asimetría puede ser hacia la derecha o hacia la izquierda. La curva tiene forma de U si los dos parámetros son negativos, forma de J si uno de ellos es negativo y forma de U inversa (unimodal), si los dos son positivos.

Cuando los dos parámetros tienen el mismo signo, la curva tiene un punto de giro, el cual ocurre en: [18]

$$X_g = \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \quad \dots(3.19)$$

Si los dos parámetros tienen signo positivo éste punto es llamado *modo*, pero si son negativos es el punto más bajo.

En el caso de los parámetros de escala  $a$  y  $b$  el punto de giro se determina como sigue:

$$X_{ge} = a + (b - a) \frac{\alpha}{\alpha + \gamma} \quad \dots(3.20)$$

Un reordenamiento de la ecuación anterior:

$$\frac{\alpha}{\alpha + \gamma} = \frac{X_{ge} - a}{(b - a)} \quad \dots(3.21)$$

Sustituyendo la ecuación (3.19) y la (3.21) resulta:

$$X_g = \frac{X_{ge} - a}{(b - a)} \quad \dots(3.22)$$

---

La ecuación anterior proporciona una visión del punto de giro de la distribución beta estándar incluyendo los nuevos parámetros  $a$  y  $b$ .

El punto de giro definido  $X_{ge}$  será el  $FCF_t^m$ , determinado por el escenario más probable. Sustituyendo también los límites definidos, la ecuación (3.22) queda de la forma siguiente:

$$X_g = \frac{FCF_t^m - FCF_t^p}{(FCF_t^o - FCF_t^p)} \quad \dots(3.23)$$

### Método PERT

En la práctica se utilizan las siguientes ecuaciones simplificadas para calcular la esperanza matemática y la varianza correspondientes a la distribución beta: [25]

$$E(FE_t^r) = \frac{FE_t^p + 4FE_t^m + FE_t^o}{6} \quad \dots(3.24)$$

$$\sigma^2(FE_t^r) = \frac{(FE_t^o - FE_t^p)^2}{36} \quad \dots(3.25)$$

El método PERT, técnica para planeación de actividades por tiempo, usa como base la distribución beta. Las ecuaciones anteriores resultan de aplicar valores establecidos. Los clásicos valores de los parámetros usados en este método son:

$$\alpha = 3 + \sqrt{2} \quad y \quad \gamma = 3 - \sqrt{2} \quad , \quad \text{si} \quad X_g > (a + b)/2 \quad \dots(3.26)$$

$$\alpha = 3 - \sqrt{2} \quad y \quad \gamma = 3 + \sqrt{2} \quad , \quad \text{si} \quad X_g < (a + b)/2 \quad \dots(3.27)$$

En diversos estudios de la obtención de los parámetros se introduce un nuevo parámetro  $k = \alpha + \gamma - 2$  que se fija en  $k=4$ , y donde la varianza se fija a  $(1/36)$ .

Dando a  $k$  el valor constante de 4, los errores de ajustamiento del método PERT son disminuidos. [14]

Herrerías [14] insiste en la similitud de la distribución beta y la distribución normal. Usa la propiedad de la distribución normal que establece que su coeficiente de curtosis es igual a 3 y demuestra que valores de  $k = 4$  aproximan esta propiedad.

---

Estas simplificaciones dan como resultado las ecuaciones (3.24) y (3.25). Por otro lado, para poder calcular los parámetros, la varianza de la distribución también se simplifica a  $(1/36)$ , la cual se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{1}{36} = \frac{(\alpha+1)(\gamma+1)}{(\alpha+\gamma+3)(\alpha+\gamma+2)^2} \quad \dots(3.28)$$

La ecuación (3.28) se combina también con la ecuación (3.19), que define el punto de giro, resultando una ecuación cúbica:

$$\alpha^3 + (7X_g - 36X_g^2 + 36X_g^3)\alpha^2 - 20X_g^2\alpha - 24X_g^3 = 0 \quad \dots(3.29)$$

Con base en lo anterior, la metodología de cálculo de la obtención de los parámetros  $\alpha$  y  $\gamma$  es:

1. Obtención del punto de giro definido anteriormente en (3.23)

$$X_g = \frac{FCF_t^m - FCF_t^p}{(FCF_t^o - FCF_t^p)}$$

2. Resolución del sistema de ecuaciones definido por (3.19) y (3.29):

$$(1) \quad X_g = \frac{\alpha}{\alpha+\gamma}$$

$$(2) \quad \alpha^3 + (7X_g - 36X_g^2 + 36X_g^3)\alpha^2 - 20X_g^2\alpha - 24X_g^3 = 0$$

Las ecuaciones anteriores deben dar un aproximado de  $k = 4$  en la ecuación del parámetro introducido  $k = \alpha + \gamma - 2$ , comprobando así una disminución de error.

### III.3.2 Método de Montecarlo aplicado con la Distribución Beta

El método Montecarlo es uno de los sistemas de simulación más conocidos y ampliamente utilizados. A continuación los pasos generales requeridos para aplicarlo:

- 
1. Determinar las variables clave
  2. Analizar dichas variables
  3. Definir su comportamiento
  4. Realizar la simulación

El método de Montecarlo se utilizará para determinar la esperanza y dispersión del valor de operación descrito anteriormente en (3.11) junto con la distribución beta.

La metodología a seguir, basada en Ortiz [21], es la siguiente:

1. Definir el periodo de planeación,  $n$
2. Definir  $FCF_i$  para cada escenario pesimista ( $FCF_i^p$ ), promedio ( $FCF_i^m$ ) y optimista ( $FCF_i^o$ ) para cada  $i=1, \dots, n$ .
3. Estimar  $\alpha_i$  y  $\gamma_i$  para cada  $i=1, \dots, n$ .
4. De la distribución  $Be(\alpha_i, \gamma_i)$  definida, obtener una muestra aleatoria  $X_{ij}; j=1, \dots, k$  donde  $k$  denota el numero de simulaciones a realizar y calcular:

$$FCF_{ij} = FCF_i^p + (FCF_i^o - FCF_i^p)X_{ij} \quad \dots(3.30)$$

5. Calcular la media mediante la siguiente expresión:

$$\overline{FCF}_i = \left(\frac{1}{k}\right) \sum_{j=1}^k FCF_{ij} \quad \dots(3.31)$$

6. Calcular el valor medio de la operación con base en (3.11):

$$\overline{VO}_t = \sum_{i=0}^{i=n} \frac{\overline{FCF}_i}{(1 + k_s)^i} + VC$$

Este valor promedio de la operación corresponde a realizar el proceso de simulación descrito una sola ocasión, pero al realizarlo “r” ocasiones, se puede realizar una estimación global dada por:

---

$$\overline{VO}_t = \left(\frac{1}{r}\right) \sum_{j=1}^r \overline{VO}_{tj} \quad \dots(3.32)$$

La varianza muestral se expresa de la siguiente forma:

$$S^2 = \left(\frac{1}{r-1}\right) \sum_{j=1}^r (\overline{VO}_{tj} - \overline{VO}_t)^2 \quad \dots(3.33)$$

El margen de error para definir el intervalo de confianza sería:

$$E = t_{\alpha/2} \frac{S}{\sqrt{r}} \quad \dots (3.34)$$

Un intervalo del  $100(1-\alpha)$  % de confianza estaría dado por:

$$\overline{VO}_t - E \leq VO_t \leq \overline{VO}_t + E \quad \dots (3.35)$$

Un procedimiento similar se usa para calcular el valor de los efectos financieros definido por  $VF_t$ .

---

### III.4 VALORACIÓN POR OPCIONES REALES

La valoración a través de opciones reales es una extensión de la teoría de opciones financieras al mundo de los activos reales (proyectos de inversión, empresas y otros). En comparación al enfoque de los flujos de efectivo descontados los métodos de valoración de opciones son usados cada vez con mayor frecuencia porque incorporan la flexibilidad.

Si un proyecto no sale como se esperaba puede durar menos de lo pensado y podría abandonarse, por otro lado, si saliera mejor de lo esperado podría ampliarse. El enfoque de opciones reales toma en consideración este tipo de flexibilidad.

En esencia un proyecto debe presentar dos componentes para poder contener una opción real: la incertidumbre y la flexibilidad.

La presencia de incertidumbre en la planeación inicial hará que pueda diferir en gran medida el desarrollo que tendrá después una inversión, si no existiera incertidumbre la planeación no se vería afectada por lo que no existiría la opción. Por otra parte, la flexibilidad se refiere a adecuar el proyecto ante la incertidumbre, tomar decisiones que mejoren la inversión.

#### III.4.1 Las opciones reales y las opciones financieras

Las opciones financieras son instrumentos derivados cuyo valor depende del valor de otro activo más elemental denominado activo subyacente.

Una opción es un contrato bilateral mediante el cual una de las partes paga una suma de dinero (prima) a la otra, para adquirir el derecho de comprarle o venderle un determinado activo (activo subyacente), en una fecha futura o hasta una fecha futura establecida en el contrato (fecha de expiración), y por un precio estipulado al momento de contratación (precio de ejercicio). [1]

La opción americana permite ejercer la opción en cualquier momento hasta la fecha de expiración. La opción europea permite ejercer la opción sólo en la fecha determinada.

---

Por otra parte, de acuerdo a la definición dada con anterioridad, existen dos tipos de opciones: *call options* y *put options*. En la *call option* se adquiere el derecho de compra y en la *put option* el derecho de venta.

El valor de la opción o prima está determinado por una serie de variables relacionadas con el activo subyacente y características de la opción. Las siguientes variables se relacionan a una *call option*:

- 1) Valor del activo subyacente. Si el valor del activo se incrementa lógicamente el valor de la opción también.
- 2) Varianza en el valor del activo subyacente. Un incremento en una medida del riesgo como es la varianza, lleva a un incremento en el valor de la opción.
- 3) Precio de ejercicio. El valor de la opción será menor a medida que el precio de ejercicio aumente.
- 4) Tiempo de expiración. Periodos largos de tiempo incrementan las probabilidades de que el precio del activo subyacente cambie, por lo que el valor presente del precio de ejercicio decrece cuanto más lejana este la fecha de expiración, lo que aumenta el valor de la opción.
- 5) Tasa libre de riesgo. Interviene cuando se calcula el valor presente del precio de ejercicio, un incremento en la tasa libre de riesgo provoca un crecimiento en el valor de la opción.

Variable	Relación en el valor	
	<i>call option</i>	<i>put option</i>
Valor del activo subyacente	+	-
Varianza en el valor del activo subyacente	+	+
Precio de ejercicio	-	+
Tiempo de expiración	+	-
Tasa libre de riesgo	+	-

**Tabla 2** Relación de las variables en el valor de opciones

---

Un proyecto es una opción real porque la empresa tiene la opción, más no la obligación de invertir. La opción otorga el derecho de adquirir un bien subyacente, constituido por los flujos libres de efectivo positivos del proyecto. Esta adquisición se lleva a cabo a un precio de ejercicio el cual es el costo de llevar a cabo la inversión. El tiempo que pase entre el momento en que se concibe el proyecto y en el que se realiza, es el tiempo de expiración. [23]

En referencia al activo del balance, una empresa que tenga la opción de cerrar y reiniciar la explotación, aplazar arranque, ampliar o reducir, será más flexible, por lo tanto más valiosa, que si no tuviera ninguna opción. [6]

Las analogías anteriores entre opciones financieras y opciones reales hacen posible que los mismos métodos de valuación puedan ser utilizados.

### **III.4.2 Tipos de opciones reales**

Las opciones reales se pueden clasificar principalmente por el tipo de flexibilidad que ofrecen. La clasificación más común es la siguiente:

1. Opción de diferir

Este tipo de opción considera la posibilidad de posponer por un tiempo la decisión de realizar una inversión. En este periodo de tiempo es posible obtener mayor información que permita realizar una buena inversión y evitar pérdidas. Esta opción puede entenderse como una opción de compra americana.

2. Opción de abandonar

La empresa puede abandonar el proyecto cuando deja de ser rentable o existen otras causas que aconsejan el abandono definitivo del proyecto, se tiene la opción de abandonar el proyecto a cambio de su valor residual. Esta opción es análoga a una opción de venta americana.

3. Opción de expandir

Si las condiciones resultan ser más favorables de lo esperado, se podría pensar en una expansión. Se pueden generar futuras inversiones a partir del proyecto. Esta opción se entiende como una opción de compra americana.

---

#### 4. Opción de reducir

Es una opción inversa a la opción de expandir por lo que se piensa en operar con menor capacidad productiva o se venden algunos activos, reduciendo posibles pérdidas que se puedan estar generando. Esta opción es análoga a una opción de venta americana.

### III.4.3 Modelos de valuación de opciones

Estos modelos se basan en ciertos supuestos que simplifican la realidad. Con base en lo establecido anteriormente se puede decir que las principales variables que deben ser contempladas para obtener el precio de una opción son [1]:

1. El tipo de opción.
2. El precio de ejercicio.
3. La fecha de expiración.
4. El precio del activo subyacente.
5. La variabilidad en el precio del subyacente.
6. Ciertas características del modo de negociación del activo subyacente.
7. Ciertas características del modo de negociación de la opción.
8. La tasa de interés libre de riesgo.

Las tres primeras variables se establecen en el contrato, en el caso de las opciones reales dependerá de que tipo de opción se está hablando.

El precio del activo subyacente se puede observar en el mercado y en el caso de opciones reales, será el valor actual de los flujos de efectivo futuros. El comportamiento futuro del precio estará directamente relacionado con la volatilidad, que tendrá que ser estimada o definida mediante supuestos.

Los supuestos relacionados con la forma de negociación del subyacente y con la tasa de interés son los siguientes: [1]

1. Se pueden realizar ventas en descubierto del activo subyacente por volúmenes ilimitados sin sanción ni costo alguno.
2. No hay oportunidades de arbitraje.
3. Se puede tomar y colocar fondos por cantidades ilimitadas a la tasa libre de riesgo, la cual se considera constante a través del tiempo y para todos los vencimientos.
4. No hay costos de transacción ni impuestos que afecten las operaciones.

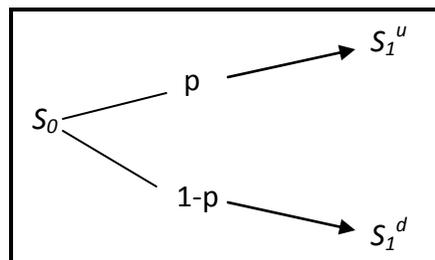
---

Existen modelos que incluyen costos de transacción sobre las operaciones y los impuestos que deberían de pagarse por las operaciones o las ganancias obtenidas, pero para fines de opciones reales la opción estará implícita en el proyecto y por otro lado los impuestos están incluidos en los flujos, por lo que éstas características no son relevantes para la valuación de opciones reales. [1]

## Modelo Binomial

Este modelo se basa en una fórmula simple que considera que el activo subyacente, en cualquier periodo de tiempo, sólo puede tomar uno de dos precios posibles.

En el momento cero, ( $S_0$ ) es el valor actual del precio del activo subyacente, en el momento del vencimiento o momento uno el precio puede moverse hacia arriba siendo ( $S_1^u$ ), mayor a ( $S_0$ ), con una probabilidad ( $p$ ) o puede moverse hacia abajo siendo ( $S_1^d$ ), menor a ( $S_0$ ), con una probabilidad ( $1-p$ ). Esto se puede observar en la figura 8.



**Fig. 8** Árbol binomial del precio de un activo subyacente

Los valores del activo subyacente al momento uno se expresan como el valor del momento cero multiplicado por una constante que indica el porcentaje en el cual aumenta o disminuye el precio del subyacente.

Al eliminar las oportunidades de arbitraje dos activos deben tener el mismo valor en un momento futuro determinado, por lo que en el momento cero tendrán el mismo valor. Con base en esto, se construye una “cartera de réplica” que tiene exactamente el mismo valor que la opción en el momento uno para después saber cuánto vale la opción en el momento cero. [1]

La cartera de réplica se compone de  $\Delta$  unidades del activo subyacente y con una colocación o préstamo de un monto de  $\phi$  a la tasa libre de riesgo. El valor de la cartera en el momento cero es:

$$V_0 = \Delta * S_0 + \phi \quad \dots (3.36)$$

El valor de la cartera de réplica en el momento uno se expresa de la siguiente manera: [1]

$$V_1 = \Delta * S_0 * f + \phi * (1 + r)^t \quad \dots (3.37)$$

Donde

- $r$  : tasa anual sin riesgo a la cual se puede depositar o solicitar dinero
- $t$  : tiempo en años que hay hasta el vencimiento de la opción de compra
- $S_0$  : precio del subyacente en el momento cero
- $f$  : factor que indica el porcentaje de aumento o disminución del precio ( $u$  ó  $d$ )
- $\Delta$  : unidades de activo subyacente que se compran en el momento cero
- $\phi$  : monto que se deposita o solicita en el momento cero a la tasa  $r$  por el plazo  $t$

Por otra parte si se ejerce una opción de compra o *call* en el momento  $t$ , el resultado por ejercicio está dado por: [1]

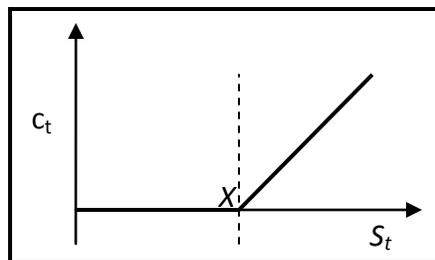
$$c_t = \max(S_t - X; 0) = \begin{cases} 0 & \text{si } S_t \leq X \\ S_t - X & \text{si } S_t > X \end{cases} \quad \dots (3.38)$$

$$S_t = S_0 * f \quad \dots (3.39)$$

Donde

- $c_t$  : valor de la opción al momento  $t$ , puede ser en el caso de aumento ( $c_t^u$ ) o en el caso de disminución de precio del activo subyacente en el momento  $t$  ( $c_t^d$ )
- $S_t$  : precio de mercado, al momento  $t$ , del activo subyacente
- $X$  : precio de ejercicio de la opción de compra

Lo anterior se puede interpretar como sigue, para cualquier valor de  $S_t$  inferior a  $X$  la función vale cero, a partir del valor  $S_t = X$ , por cada unidad que aumenta  $S_t$  la función aumenta en una unidad. En la siguiente figura se ilustra esta idea.



**Fig. 9** Comportamiento del valor de la opción de compra

Se obtienen las cantidades  $\Delta$  y  $\phi$  igualando las ecuaciones (3.37) y (3.38), obteniendo así ecuaciones para cuando el precio sube y cuando baja, como un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas.

$$c_1^u = \Delta * S_0 * u + \phi * (1 + r)^t \quad \dots (3.40)$$

$$c_1^d = \Delta * S_0 * d + \phi * (1 + r)^t \quad \dots (3.41)$$

Siendo  $u$  (*upside*) el factor que indica el porcentaje en aumento del precio y  $d$  (*downside*) el factor que indica el porcentaje en disminución del precio.

Finalmente se calcula el valor de la opción de compra con la ecuación (3.36), al igualarla al valor de la cartera de réplica  $c_o = V_o$ .

Para valorar una opción de venta o *put* las ecuaciones anteriores son igualmente aplicables, la única modificación radica en el resultado por ejercicio, en el momento  $t$ , el cual está dado por: [1]

$$p_t = \max(X - S_t; 0) = \begin{cases} X - S_t & \text{si } S_t < X \\ 0 & \text{si } S_t \geq X \end{cases} \quad \dots (3.42)$$

$$S_t = S_0 * f$$

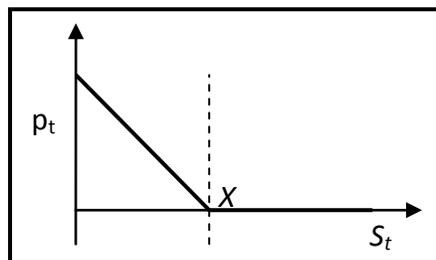
Donde

$p_t$  : valor de la opción al momento  $t$ , puede ser en el caso de aumento ( $p_t^u$ ) o en el caso de disminución de precio del activo subyacente en el momento  $t$  ( $p_t^d$ )

$S_t$  : precio de mercado, al momento  $t$ , del activo subyacente

$X$  : precio de ejercicio de la opción de venta

Lo anterior se puede interpretar como sigue, para cualquier valor de  $S_t$  superior a  $X$  la función vale cero pues no se ejercerá la opción, si  $S_t$  es menor a  $X$ , el resultado será  $X - S_t$ . En la siguiente figura se ilustra esta idea.



**Fig. 10** Comportamiento del valor de la opción de venta

---

## Valuación Neutra al Riesgo

Este modelo surge de la reformulación del modelo binomial, se presenta desde otro punto de vista. El modelo de valuación neutra a riesgo calcula el valor de la opción como una esperanza matemática descontada. Esta esperanza matemática se obtiene utilizando probabilidades llamadas “neutrales al riesgo” y los posibles valores que toma la opción en el momento uno. [1]

La probabilidad neutra al riesgo será aquella que haga que el precio del activo subyacente en el momento uno, descontado a la tasa libre de riesgo, sea igual al precio del activo subyacente en el momento cero.

$$S_0 = \frac{S_1^u * q + S_1^d * (1-q)}{(1+r)^T} \quad \dots (3.43)$$

Donde

$q$  : probabilidad neutra a riesgo de que el precio suba a  $S_1^u$  en el momento uno  
 $(1-q)$  : probabilidad asociada a una caída de precio hasta  $S_1^d$  en el momento uno

El numerador de la ecuación (3.43) representa la esperanza matemática del precio del activo subyacente al momento uno.

Normalmente se requerirá el cálculo de la probabilidad neutra a riesgo por lo que despejando de la ecuación (3.43) y usando las equivalencias necesarias del precio del activo subyacente en el tiempo uno para hacer una simplificación, se obtiene:

$$q = \frac{(1+r)^T - d}{u - d} \quad \dots (3.44)$$

El valor de la opción al momento cero se calcula de forma similar a la ecuación (3.43). El valor de la opción de compra o *call* es:

$$C_0 = \frac{C_1^u * q + C_1^d * (1-q)}{(1+r)^T} \quad \dots (3.45)$$

Los posibles valores de la opción de compra al momento uno se obtienen con ayuda de la expresión (3.38) de acuerdo a cada caso, en que suba o baje el precio, al momento de ejercer la opción.

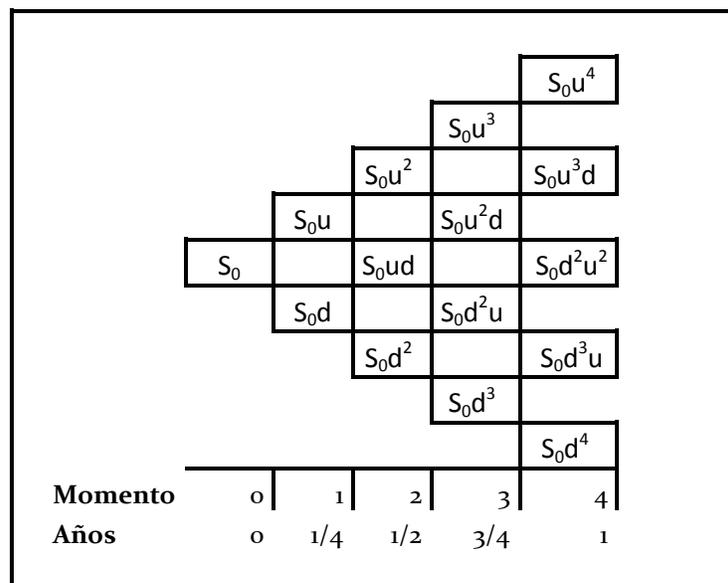
Para una opción *put* se utiliza la misma expresión (3.45) pero con ayuda de la expresión (3.42) para definir los posibles valores de la opción al momento uno.

## Árboles Binomiales Múltiples

El modelo binomial puede ser utilizado para árboles binomiales con múltiples ramificaciones.

La diferencia radica en que en este caso se divide el plazo hasta el vencimiento de la opción,  $T$ , en  $n$  periodos de igual magnitud  $\Delta t = T/n$ . En cada periodo se tiene un paso del modelo binomial y los parámetros  $u$  y  $d$  son constantes en cada uno. Se suele usar que  $u*d = 1$ , para que la parte central del árbol refleje un aproximado del valor inicial del activo subyacente.

Si se desea modelar la conducta del precio del activo subyacente en un plazo de un año utilizando un modelo binomial de 4 pasos, se tendría:



**Fig. 11** Árbol binomial de 4 pasos  
Fuente: Bacchini, 2006. [1]

Como se puede observar en la figura, al dividir en  $n$  periodos el plazo, habrá  $n+1$  posibles precios del activo subyacente al momento final.

Para obtener el valor de la opción tipo europea se sigue el procedimiento descrito anteriormente en el modelo binomial, partimos del final para encontrar el valor en el momento cero.

---

La probabilidad neutral al riesgo se determina de la misma forma que en la sección anterior pero con la diferencia de que la fecha de vencimiento debe estar dividida entre el número de pasos que se desea analizar, expresada en años.

$$q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u - d} \quad \dots (3.46)$$

Por otro lado, en una opción tipo americana la diferencia se presenta en que en cada nodo del árbol se debe comprobar si es conveniente ejercer la opción o no, ya que puede realizarse en cualquier momento hasta la fecha de expiración.

Se comprueba el valor de cada nodo comparando el resultado por ejercicio (según sea una opción *call* o *put*) con el valor que se obtiene como esperanza matemática descontada. El mayor de estos dos valores será el valor de la opción en el nodo correspondiente. [1]

$$V_t = \max [\text{ejercer}_t ; \text{mantener}_t] \quad \dots (3.47)$$

Los parámetros  $u$  y  $d$  están directamente relacionados con la volatilidad del precio del activo subyacente. Generalmente se calculan de la siguiente forma: [1]

$$u = e^{\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \dots (3.48)$$

$$d = e^{-\sigma\sqrt{\Delta t}} \quad \dots (3.49)$$

A mayor volatilidad mayor será el valor del parámetro  $u$  y menor será  $d$ .

## Modelo de Black & Scholes

Este modelo fue desarrollado por Fisher Black y Myron Scholes en 1972. Este modelo fue desarrollado para valuar opciones europeas sobre activos que no pagan dividendos durante la vigencia de la opción.

El supuesto fundamental es que el precio del activo subyacente sigue un Movimiento Geométrico Browniano, lo cual desemboca al precio del activo subyacente al momento del vencimiento de la opción en una variable aleatoria con una distribución Log-Normal con media y desviación estándar constantes. La negociación del activo subyacente se realiza de manera continua. [1]

---

El modelo binomial es un modelo discreto de movimientos de precios, que emplea un intervalo de tiempo  $t$  entre cada movimiento de precio, por lo que emplea un enfoque algebraico. En el modelo de Black & Scholes, entre más pequeño sea  $t$ , la función límite cuando  $t$  tiende a cero es la distribución Log-Normal y el proceso de precios es continuo.

El valor teórico de una opción de compra europea es: [1]

$$c_0 = S_0 * N(d_1) - e^{-\delta * T} * X * N(d_2) \quad \dots (3.50)$$

$$d_1 = \frac{\ln(S_0/X) + (\delta + 0.5 * \sigma^2) * T}{\sigma * \sqrt{T}} \quad \dots (3.51)$$

$$d_2 = d_1 - \sigma * \sqrt{T} \quad \dots (3.52)$$

Donde

$S_0$  : precio del activo subyacente en el momento cero

$N(x)$  : probabilidad acumulada por una distribución normal estándar hasta el valor  $x$

$X$  : precio de ejercicio de la opción

$\delta$  : tasa de interés libre de riesgo

$\sigma$  : desviación estándar (volatilidad) anualizada por unidad de tiempo

$T$  : plazo en años hasta el vencimiento de la opción

Para aplicaciones sencillas de las opciones reales, tales como la opción de diferir, el modelo Black-Scholes puede funcionar bien.

---

## CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE CASO: VALUACIÓN DE UNA MEJORA EN UN ÁREA DE PRODUCCIÓN

### IV.1 INTRODUCCIÓN

El caso que se presenta es sobre una empresa que se dedica a la deshidratación de aceite usado ubicada en el Estado de México, por razones de confidencialidad en este trabajo se le nombrará “*Empresa Aceitera*”.

La “*Empresa Aceitera*” es considerada como una pequeña empresa de la industria química y su aprovisionamiento de materia prima esta dado por las empresas colindantes que le proporcionan el aceite usado.

En la “*Empresa Aceitera*” al aceite lubricante húmedo se le da un tratamiento donde parte importante de los contaminantes del aceite usado, como son el agua, lodos, partículas gruesas, etc. son retirados.

### IV.2 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO CONCEPTUAL

Primeramente es necesario elaborar el modelo conceptual que será traducido en un modelo computacional para poder llevar a cabo la simulación de la implementación de la mejora.

El sistema a modelar es el área de producción de la empresa. El objetivo definido del área de producción en la “*Empresa Aceitera*” es el siguiente:

“Entregar a los clientes un producto de calidad en el menor tiempo posible”

Este objetivo se basa en características de calidad y de plazo de entrega, basado en la dimensión de velocidad ya que se debe tener preparado el producto en el menor tiempo posible.

---

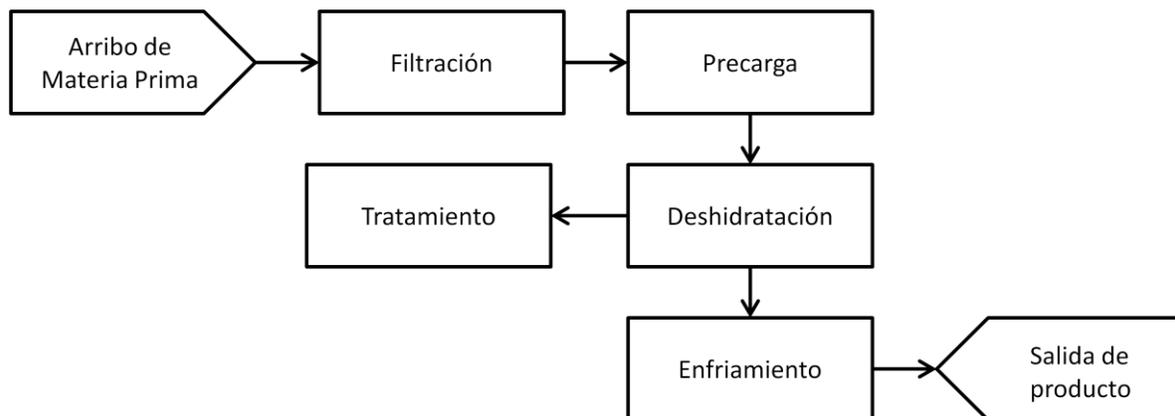
Indirectamente se apoyan características basadas en el medio ambiente ya que se propone en todo momento el tratamiento de agua extraída al final del proceso productivo.

Los factores de producción que serán definidos para construir el modelo, son los recursos elementales que son utilizados directamente en la transformación.

Para identificar el sistema se identifican los procesos básicos que se llevan a cabo, los cuáles son:

- a) Filtración. Mediante procesos de filtración se retiran partículas gruesas del aceite húmedo.
- b) Deshidratación. Este es el proceso principal de la empresa. Mediante un proceso de aplicación de calor con ayuda de vapor se elimina el agua. Durante la deshidratación, el agua que contiene el aceite se evapora, obteniéndose un aceite con bajo contenido de humedad para su comercialización.

El diagrama de bloques que representa el proceso principal en la “*Empresa Aceitera*” es el siguiente:



**Fig. 12** Diagrama de Bloques del proceso de la “*Empresa Aceitera*”

Se llevan a cabo además dos operaciones de inspección, a lo largo del proceso, para mantener el control de calidad.

La descripción de cada parte del proceso de la “*Empresa Aceitera*”, incluyendo tiempos de proceso, se muestra en la siguiente tabla.

Descripción	Tipo de operación	Tiempo o Distribución
Ruta a descarga	Transporte	5 min
Descarga de autotanque	Espera	1.25 hrs
Transporte a filtro	Transporte	2 min
Filtración	Operación	90 min
Descarga a precarga	Transporte	90 min
Almacenamiento en tanque de precarga	Almacenamiento	-
Descarga a deshidratación	Espera	TRIA (30, 40, 45) min
Deshidratación	Operación	TRIA (5.5, 6.7, 8) hrs
Transporte de producto terminado	Transporte	60 min
Demora Enfriamiento	Espera	TRIA (20, 24, 35) hrs
Descarga a autotanque	Espera	1.25 hrs
Ruta de Salida	Transporte	5 min

TRIA: Distribución de probabilidad triangular

**Tabla 3** Tiempos de operación en el área de producción de “*Empresa Aceitera*”

Los tiempos proporcionados fueron dados como tiempos constantes en minutos o representados como una distribución de probabilidad triangular (TRIA). Estos tiempos fueron proporcionados por lote.

Además se cuenta con los siguientes datos del arribo de la materia prima:

- El aceite usado llega, en promedio representado por una distribución de probabilidad uniforme, cada UNIF (1.5, 2) días.
- Llega una cantidad de lote de 17,000 lts.

Con los datos anteriores y con datos de la capacidad de cada uno de los equipos utilizados en la operación se tiene la representación, con los datos básicos necesarios, del área de producción de la “*Empresa Aceitera*”.

---

Todos los datos y las operaciones incluidas en la recopilación, para crear el modelo conceptual, fueron proporcionados y validados por los operadores y el gerente de operaciones de la “*Empresa Aceitera*”.

### IV.3 CONSTRUCCIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL

Se identificaron los datos necesarios para poder elaborar el modelo computacional en el software de simulación, los cuales se establecieron en el modelo conceptual.

La naturaleza del proceso en la “*Empresa Aceitera*” se clasifica como una proceso batch o por lotes, esto hace que sea más sencillo manejarlo como un sistema discreto para poder ser traducido en un modelo computacional.

Además se trabaja el modelo con cantidades a escala para una mayor facilidad de manejo de cantidades, utilizando una escala 1:1000.

Varios modelos fueron contruidos para agregar a cada paso mayores detalles y aumentar la complejidad. Se fueron agregando fases del proceso de producción hasta que se llegó a la versión final.

La figura 14 muestra la pantalla del paquete de simulación, Arena, con el modelo computacional final.

En el modelo computacional se incluye un área de animación realizada para poder comprobar el comportamiento del sistema. En la figura 13 se muestra el modelo de animación. La función de animación permitió verificar inconsistencias en los flujos de producción.

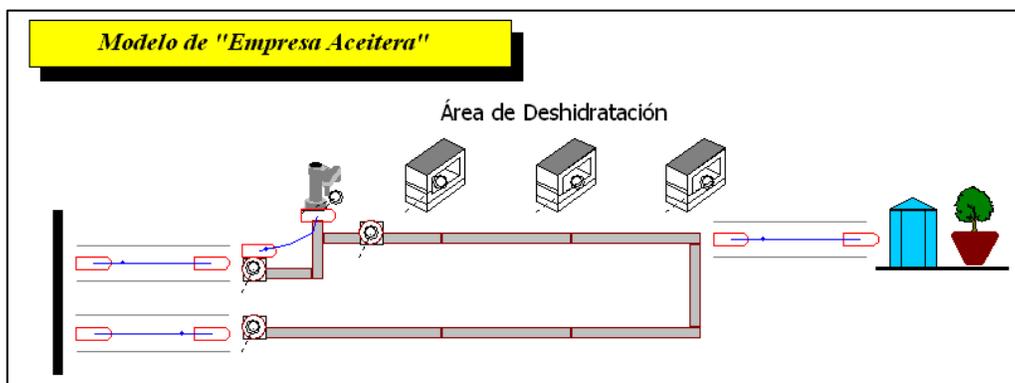


Fig. 13 Animación del modelo computacional de la “*Empresa Aceitera*”

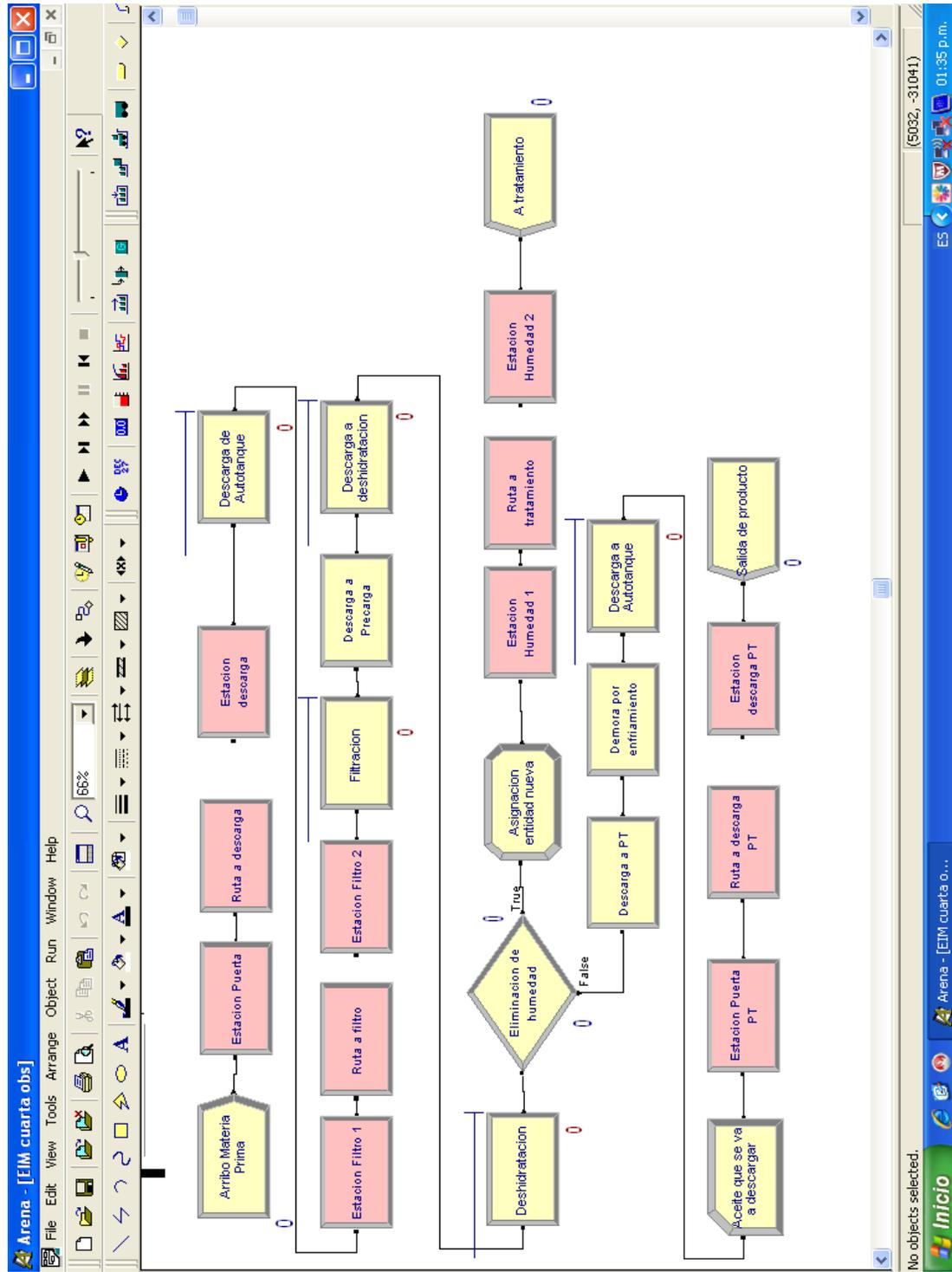


Fig. 14 Modelo computacional del área de producción de la “Empresa Aceitera”

Se realizaron diversas simulaciones donde el sistema se comportó de manera muy similar al sistema real.

El comportamiento del sistema en el modelo computacional fue validado por las personas relacionadas con la operación del sistema de la “*Empresa Aceitera*”

Se obtuvieron los siguientes resultados de un total de 300 réplicas representando un total de 30 días de simulación.

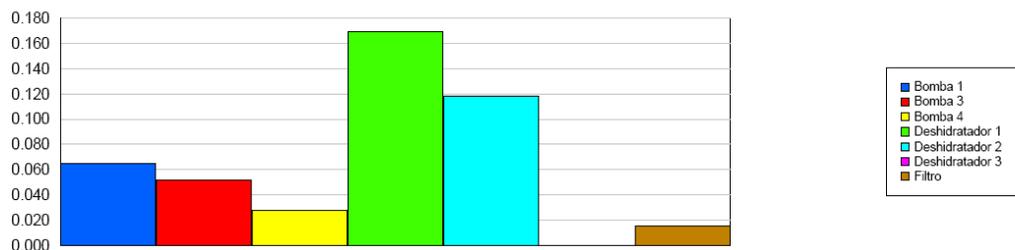
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aceite	39.1033	< 0.00	39.0311	39.1645	38.3667	40.8667

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Aceite	300.73	0.94	289.00	323.00

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Aceite	287.00	0.78	272.00	306.00

## Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Bomba 1	0.06509309	0.00	0.06271701	0.07009549
Bomba 3	0.05169462	0.00	0.04644097	0.05791516
Bomba 4	0.02760099	0.00	0.02675926	0.02838911
Deshidratador 1	0.1696	0.00	0.1653	0.1750
Deshidratador 2	0.1185	0.00	0.1156	0.1225
Deshidratador 3	0.00	0.00	0.00	0.00
Filtro	0.01558864	0.00	0.01505208	0.01678994



---

## IV.4 DEFINICIÓN DEL SISTEMA MODIFICADO CON MEJORA

### Antecedentes

Mediante el análisis del área de producción se identificó una importante área de oportunidad.

Durante la deshidratación, la carga se calienta a una temperatura de 120°C aproximadamente. Este proceso se lleva a cabo por medio de lotes. Al término de cada lote, el aceite deshidratado se almacena en tanques de almacenamiento a la temperatura de deshidratación, dejando el producto en reposo hasta que alcanza la temperatura ambiente para su manejo y posterior venta. En caso de requerirse el producto de inmediato, no es posible disponer de él hasta que se enfríe, pudiendo llevarse esta operación hasta un máximo de 35 hrs.

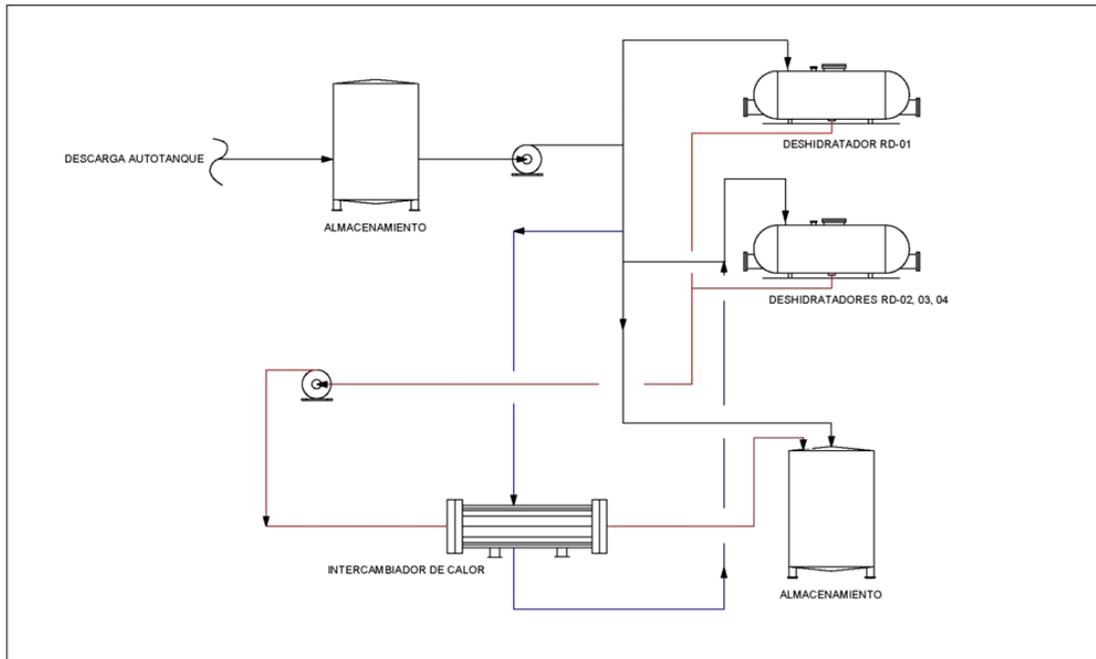
Por otra parte, la carga de aceite húmedo se alimenta a cada deshidratador a temperatura ambiente, requiriéndose de una carga energética importante para llevar la temperatura ambiente hasta los 120°C requeridos para la deshidratación.

Con base a estos antecedentes, la mejora propuesta en la operación de deshidratación, es la instalación de un equipo de intercambio de calor para eficientar el calentamiento del aceite usado y el enfriamiento del aceite deshidratado.

### Descripción de la mejora

El cambiador de calor sería del tipo de coraza y tubos el cuál transferiría el calor proveniente del aceite deshidratado, llevado a una temperatura de aproximadamente 120°C, al aceite usado húmedo que se va a llevar a deshidratar, el cual tiene una temperatura aproximada de 20°C. Este contacto de fluidos llevaría al aceite usado húmedo a una temperatura de 60°C, antes de cargarse al proceso de deshidratación.

El diagrama de flujo de proceso básicamente muestra la propuesta del arreglo que tendría el cambiador de calor en la “*Empresa Aceitera*”. Todo el arreglo de los deshidratadores permanecería igual, salvo una nueva línea que estaría conectada al equipo de intercambio de calor.



**Fig.15** Diagrama de Flujo de proceso simplificado de la propuesta de mejora en la “*Empresa Aceitera*”

La propuesta descrita proporcionará los siguientes beneficios:

- Ahorro de energéticos. Se requerirá una menor carga de energía para llevar a cabo la deshidratación del aceite húmedo.
- Disminución del tiempo de terminación de lote. El tiempo de enfriamiento de cada lote de producción en los tanques de almacenamiento se llevará a cabo en un menor tiempo. Esto se reflejará en menores tiempos de entrega de producto.
- Posibilidad de procesar mayores lotes de producto. El tiempo de espera de enfriamiento de producto terminado se reduciría considerablemente, dando la oportunidad de almacenamiento de mayores lotes de producto.

---

## Cambios en el modelo original

La mejora propuesta tiene en el sistema original de la “*Empresa Aceitera*” el siguiente impacto, para ser modificado y traducido en un modelo modificado:

- El proceso de deshidratación tiene una reducción de un 25% de tiempo, ya que esta en relación directamente proporcional a las nuevas temperaturas a las que se está llevando la materia prima.
- La fase de enfriamiento experimenta una reducción del 50% del tiempo ya que el producto terminado sale a la mitad de la temperatura con la que salía con anterioridad.

Estos cambios se realizan en los datos proporcionados en cada proceso definido, en el modelo computacional original.

## IV.5 OBTENCIÓN DE VARIABLE DE SALIDA

Se realizan una serie de corridas del modelo modificado para poder obtener variables de salida que nos sean útiles en la valuación financiera del sistema modificado.

Se realizaron un total de 300 réplicas, en un total de 30 días de tiempo de simulación, donde se obtuvieron los siguientes resultados.

Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aceite	25.3540	< 0.00	25.3020	25.4145	24.6167	27.1167

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Aceite	300.73	0.94	289.00	323.00

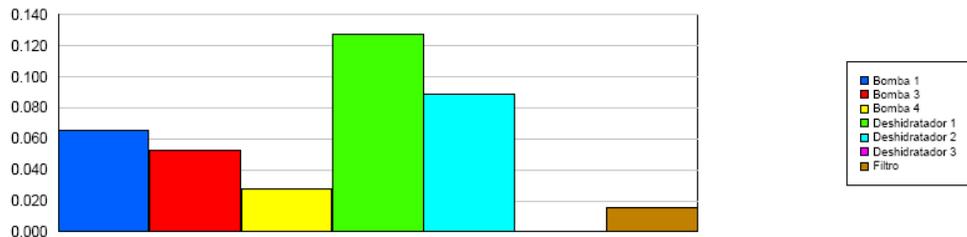
  

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Aceite	291.24	0.67	273.00	306.00

---

## Usage

Scheduled Utilization	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Bomba 1	0.06509309	0.00	0.06271701	0.07009549
Bomba 3	0.05255258	0.00	0.04730903	0.05794271
Bomba 4	0.02760099	0.00	0.02675926	0.02838911
Deshidratador 1	0.1274	0.00	0.1240	0.1313
Deshidratador 2	0.08900503	0.00	0.08677083	0.0919
Deshidratador 3	0.00	0.00	0.00	0.00
Filtro	0.01558864	0.00	0.01505208	0.01678994



Los datos que resultaron de la modificación, en comparación a los resultados originales, muestran un cambio en las siguientes variables:

- El tiempo total que pasa la entidad en el sistema se reduce en un 35% aproximadamente.
- Las entidades de salida presentan un incremento del 1.4% aproximadamente.

Por otro lado, es de esperarse que el uso en el deshidratador 1 y 2 también se reduzca en un 10%, por el menor tiempo de deshidratación requerido.

Las demás variables que no se relacionan con las modificaciones realizadas permanecen inalterables, por lo que el sistema sigue siendo representativo.

El porcentaje de incremento en las entidades de salida va a ser utilizado para modificar las posibles ventas futuras que tendrá la “*Empresa Aceitera*” en las proyecciones de ventas que se realizarán para poder realizar la valuación.

---

## IV.6 CÁLCULO DEL VALOR MEDIANTE EL MÉTODO DE MONTECARLO APLICADO CON LA DISTRIBUCIÓN BETA

Cómo se definió anteriormente para calcular el valor financiero de la “*Empresa Aceitera*” se va a hacer uso del método de Montecarlo junto con la distribución beta siguiendo la metodología basada en Ortiz [21].

### Tasa de descuento

Primeramente es necesario definir la tasa de descuento utilizada en el método del APV.

Los datos base utilizados para el cálculo del rendimiento exigido a una empresa no apalancada  $k_w$ , son los siguientes:

Tasa libre de riesgo <sup>1</sup>	4.43%
Prima de riesgo de mercado <sup>2</sup>	7.21%
$\beta$ : riesgo sistemático <sup>3</sup>	0.5819

<sup>1</sup> CETES a 28 días del 2 junio 2011

<sup>2</sup> Proaño Rivera B. (2005) [22]

<sup>3</sup> Gómez Monge (2004) [10]

**Tabla 4** Parámetros utilizados en el modelo CAPM

La prima de riesgo de mercado ha sido determinada por diferentes investigaciones que han abarcado el periodo que va desde la posguerra hasta el año 2000, aproximadamente, entre un 6% y 7%, con tendencia a este último valor. Normalmente lo que se usa, es una prima por el riesgo de los países desarrollados [22].

En el cálculo de la prima de mercado de los Estados Unidos en el periodo 1926 - 2004, se obtiene un promedio que alcanza el 7,21% [22].

Para la obtención de la estimación de la beta, al no tener una base de datos disponible, se optó por utilizar un beta sectorial del sector transformación en México, basado en la regresión lineal entre la rentabilidad del mercado en su

---

conjunto con respecto al rendimiento esperado de cada uno de los sectores del mismo, calculado por Gómez Monge (2004) [10].

De acuerdo con la ecuación (3.14), para desapalancar el coeficiente beta es necesario considerar la estructura de capital de la empresa. La “*Empresa Aceitera*” no tiene deudas a largo plazo por lo que la relación D/E es igual a cero. Este nivel de endeudamiento hace que el WACC y  $k_u$  sean exactamente iguales en magnitud.

De acuerdo a lo anterior y a la ecuación (3.15):

$$k_u = r_f + \beta_u(r_m - r_f) = 4.43\% + 0.5819(7.21\%) = \mathbf{8.625\%}$$

Una vez definida la tasa de descuento, se procede a seguir la metodología descrita anteriormente.

### Definición de escenarios y cálculo del FCF

Para la definición de los escenarios se modificaron variables que en la “*Empresa Aceitera*” se consideran críticas y de importancia a considerar.

El escenario promedio se definió con los porcentajes más probables que se presentarían en comparación con los datos históricos.

El escenario optimista y pesimista se definió con los porcentajes acordados con el gerente de planta, con base también en los datos históricos. La tabla 4 resume los porcentajes proporcionados.

	Variables de escenario			
	Aumento de volumen	Costo de ventas*	Aumento de gastos de administración	Gasto de ventas*
Promedio	3%	85%	4%	1%
Optimista	5%	82%	4%	1%
Pesimista	0%	88%	6%	2%

\*En relación a las ventas netas

**Tabla 5** Definición de escenarios

Una vez definido cada escenario se procede al cálculo del FCF de cada uno de ellos.

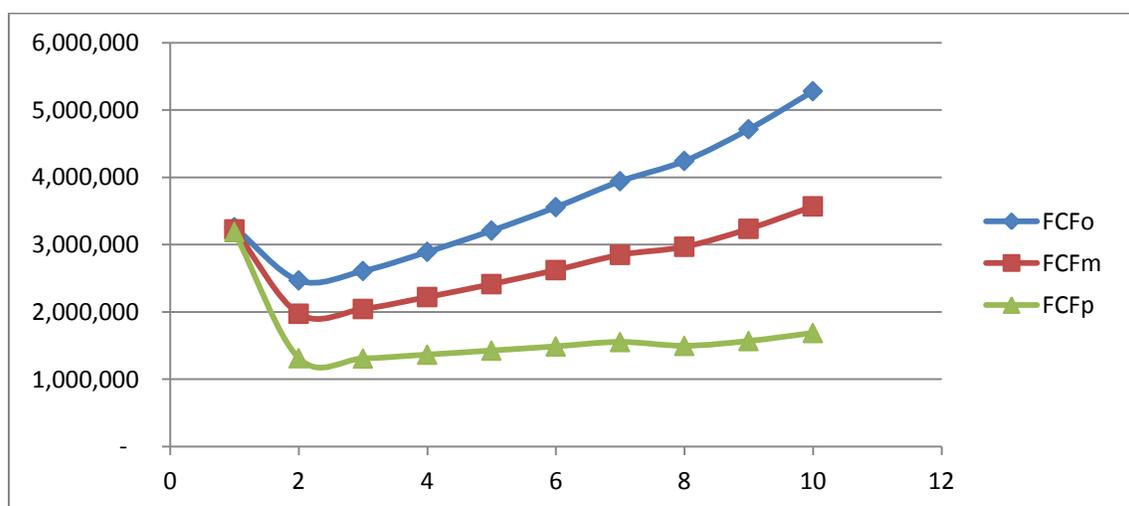
En la tabla 6 se muestra el resumen de los FCF obtenidos en la proyección, así como los valores para la distribución  $Be(\alpha_i, \gamma_i)$  definida para cada año.

Proyección					
	2011	2012	2013	2014	2015
FCF <sup>o</sup>	3,258,930	2,468,836	2,609,150	2,894,013	3,209,101
FCF <sup>m</sup>	3,226,175	1,973,580	2,044,323	2,221,425	2,413,643
FCF <sup>p</sup>	3,186,141	1,313,239	1,308,573	1,365,797	1,425,631
$\alpha_i$	3.2723	3.3699	3.3451	3.319	3.2914
$\gamma_i$	2.6773	2.5277	2.5681	2.6088	2.6498

Proyección					
	2016	2017	2018	2019	2020
FCF <sup>o</sup>	3,557,553	3,942,832	4,243,322	4,714,105	5,279,437
FCF <sup>m</sup>	2,622,235	2,848,565	2,968,672	3,235,024	3,568,957
FCF <sup>p</sup>	1,488,190	1,553,595	1,496,535	1,568,013	1,687,773
$\alpha_i$	3.2625	3.2327	3.2014	3.1698	3.1368
$\gamma_i$	2.691	2.7317	2.7725	2.8121	2.8517

**Tabla 6** Parámetros del modelo de probabilidad

La figura 16 muestra el comportamiento de los FCF obtenidos en la proyección.



**Fig. 16** Gráfica de los FCF obtenidos de la proyección

---

### Proceso de simulación

De cada distribución beta definida se obtuvo una muestra aleatoria de 100 números mediante el paquete estadístico Statgraphics el cual genera números aleatorios de diversas distribuciones de probabilidad.

Con base en las ecuaciones (3.30) y (3.31), se calcula el valor medio de la operación  $\bar{VO}_t$  definido por (3.11). El proceso de simulación se realiza en 10 ocasiones dando como resultado una estimación global. La tabla 7 muestra los resultados del proceso.

Núm. simulación					
	1	2	3	4	5
$\bar{VO}_t$	28,251,158	28,283,187	28,281,098	23,891,733	23,885,282

	6	7	8	9	10
$\bar{VO}_t$	23,774,911	23,850,393	23,906,482	23,972,131	23,857,787
Media	25,195,416				
Varianza	4.5093E+12				

**Tabla 7** Resultados del proceso de simulación

El valor de los efectos financieros no tiene efecto en el valor financiero para la “*Empresa Aceitera*” puesto que el nivel de la deuda es igual a cero. Es así como el valor de la operación define totalmente el valor promedio de la empresa.

El valor esperado de operación de la empresa es:

$$VO_t = \$ 25, 195, 416.00$$

El intervalo de confianza del 95% estaría dado por:

$$23,676,461 \leq VO_t \leq 26,714,371$$

En la expresión anterior se definen los límites inferior y superior.

---

#### IV.7 CÁLCULO DEL VALOR MODIFICADO POR LA MEJORA

Se utiliza la misma tasa de descuento obtenida, siendo la única modificación en el FCF obtenido para cada caso, las ventas que podrían realizarse definidas por los resultados de la simulación de la mejora de producción.

##### Definición de escenarios y cálculo del FCF

Se definieron los escenarios con base en el resultado de la simulación y en la disminución del costo de ventas. La tabla 8 resume los porcentajes proporcionados.

	Variables de escenario	
	Aumento de ventas	Costo de ventas*
Promedio	1.4%	76.5%
Optimista	1.8%	73%
Pesimista	1.0%	81%

\*En relación a las ventas netas

**Tabla 8** Definición de escenarios en sistema modificado

Una vez definido cada escenario se procede al cálculo del FCF de cada uno de ellos.

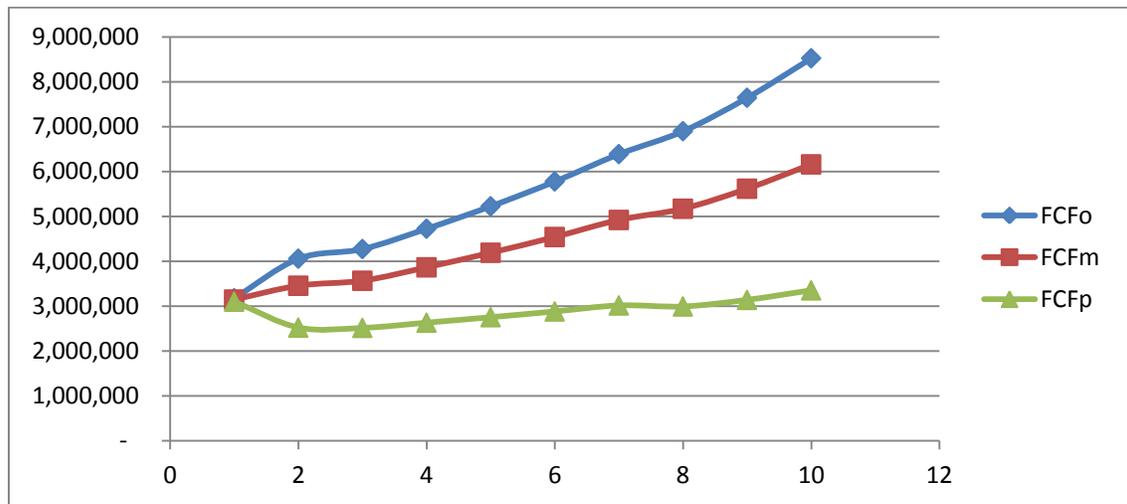
En la tabla 9 se muestra el resumen de los FCF obtenidos en la proyección, así como los valores para la distribución  $Be(\alpha_i, \gamma_i)$  definida para cada año.

	Proyección				
	2011	2012	2013	2014	2015
FCF <sup>o</sup>	3,177,013	4,058,188	4,273,259	4,725,922	5,226,010
FCF <sup>m</sup>	3,147,305	3,455,131	3,566,493	3,865,448	4,189,451
FCF <sup>p</sup>	3,099,522	2,523,225	2,516,309	2,632,568	2,754,388
$\alpha_i$	3.5338	3.5043	3.4725	3.4408	3.4081
$\gamma_i$	2.1973	2.2679	2.3373	2.401	2.4618

	Proyección				
	2016	2017	2018	2019	2020
FCF <sup>o</sup>	5,778,425	6,388,572	6,899,479	7,643,591	8,523,734
FCF <sup>m</sup>	4,540,568	4,921,039	5,170,350	5,616,991	6,159,374
FCF <sup>p</sup>	2,882,034	3,015,779	2,992,977	3,139,801	3,352,139
$\alpha_i$	3.375	3.3416	3.3074	3.2723	3.2367
$\gamma_i$	2.5192	2.5738	2.6262	2.6773	2.7263

**Tabla 9** Parámetros del modelo de probabilidad modificado

La figura 17 muestra el comportamiento de los FCF obtenidos en la proyección.



**Fig. 17** Gráfica de los FCF obtenidos de la proyección con mejora

### Proceso de simulación

Al seguir el procedimiento anteriormente descrito se obtienen los resultados de la tabla 10.

	Núm. simulación				
	1	2	3	4	5
$\bar{VO}_t$	46,159,707	46,089,985	28,917,056	38,652,840	38,817,298

---

	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
$\bar{VO}_t$	39,150,756	38,472,818	38,941,395	38,471,659	38,574,989
Media	39,224,850				
Varianza	2.2623E+13				

**Tabla 10** Resultados del proceso de simulación modificado

El valor esperado de operación de la empresa con la mejora de producción es:

$$VO_t = \$ 39, 046, 484.00$$

El intervalo de confianza del 95% estaría dado por:

$$35,822,587 \leq VO_t \leq 42,627,113.68$$

En la expresión anterior se definen los límites inferior y superior.

#### IV.8 VALOR DE LA OPCIÓN DEL PROYECTO DE MEJORA

Al analizar la mejora de producción que se propuso en la “*Empresa Aceitera*” se llegó a la conclusión de que existía la flexibilidad necesaria para considerar una opción real.

La decisión de implementar la mejora de producción, considerada como un proyecto, puede posponerse por un tiempo. Este tipo de flexibilidad se considera como la opción de diferir una inversión.

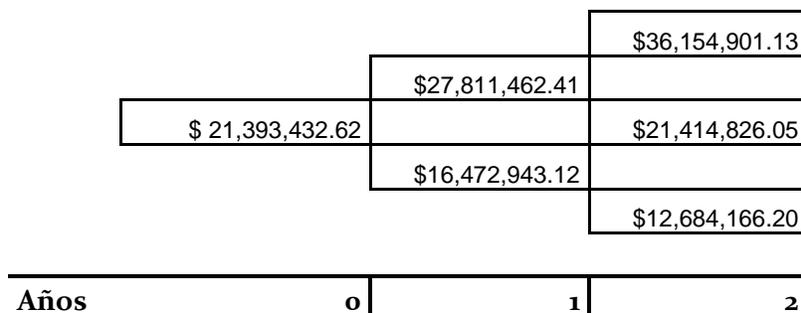
Comparándola con una opción financiera de compra americana, se llevará a cabo la valuación de la opción como se definió anteriormente.

El activo subyacente es el valor actual de los flujos de efectivo futuros o valor presente neto. El precio de ejercicio es el costo de la inversión. La posibilidad de diferir estará abierta hasta la fecha de expiración.

Tiempo al vencimiento (años)	Precios del Activo			Precio de Ejercicio	Tasa de interés	Núm. de pasos
	Inicial	factor alza, $u$	factor baja, $d$			
2	\$ 21,393,432.62	1.30	0.77	\$ 330,000.00	4.00%	2

**Tabla 11** Datos para el cálculo de la opción

Se construye un árbol de dos pasos para modelar el comportamiento del precio del activo.



**Fig.18** Árbol de dos pasos del comportamiento de precio del activo subyacente

Se llevará a cabo la valuación neutra al riesgo, por lo que se tienen que calcular las probabilidades neutras al riesgo. Utilizando la ecuación (3.46), tenemos que:

$$q = \frac{(1+r)^{\Delta t} - d}{u-d} = \frac{(1+4\%)^1 - 0.77}{1.30 - 0.77} = 0.51$$

$$(1-q) = 0.49$$

En cada nodo se debe comparar el resultado de ejercer la opción o mantenerla, pues se está hablando de una opción de compra americana. El valor de la opción al ejercerla se calcula con la ecuación (3.38). Al momento dos, después de dos alzas, tenemos que:

$$c_2^{uu} = \max(S_2^{uu} - X; 0) = \max(36,154,901.13 - 330,000.00; 0) = 35,824,901.13$$

Siguiendo esta estructura, el árbol del resultado por ejercicio es el siguiente:

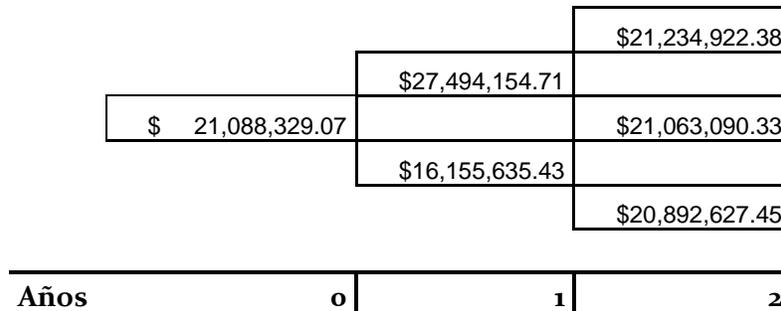
			\$35,824,901.13
		\$27,481,462.41	
\$ 21,063,432.62			\$21,084,826.05
		\$16,142,943.12	
			\$12,354,166.20
<b>Años</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>

**Fig.19** Árbol de dos pasos del comportamiento del resultado por ejercicio

El valor de la opción al momento dos tendrá los mismos valores que los resultantes en el árbol del resultado por ejercicio. Para el momento uno, se utiliza la ecuación (3.45), adaptada al momento uno.

$$c_1^u = \frac{c_2^{uu} * q + c_2^{ud} * (1-q)}{(1+r)^{\Delta t}} = \frac{35,824,901.13 * 0.51 + 21,084,826.05 * 0.49}{(1+0.04)^1} = 27,494,154.71$$

Calculando así los valores de la opción para el momento uno y cero, se tiene el siguiente árbol del comportamiento del valor de la opción, al mantenerla.



**Fig.20** Árbol de dos pasos del comportamiento del valor de la opción viva

En cada nodo debe de compararse el resultado por ejercicio y el de mantener la opción, escogiendo el valor máximo como valor de la opción. Al comparar los resultados obtenidos en los arboles correspondientes, se puede observar que en cada nodo el valor máximo es el valor obtenido al mantener la opción, salvo al final donde ambos valores son los mismos.

El valor de la opción de diferir el proyecto 2 años es por lo tanto:

$$V = \$ 21,088,329.07$$

El valor total del proyecto con la opción de diferir es la suma del valor presente neto del proyecto más el valor de la opción real:

$$V_t = \$ 21,393,432.62 + \$ 21,088,329.07$$

$$V_t = \$ 42,481,761.69$$

---

## CONCLUSIONES

Es un hecho que las empresas continuamente buscan ser más competitivas por lo que el implementar estrategias o mejoras es una gran opción. Sin embargo, siempre existe un riesgo acerca de los posibles resultados que se esperan, por lo que cualquier decisión acerca de la posible implementación de este tipo de estrategias o mejoras en la empresa, siempre debe ser soportada por los posibles beneficios que se obtengan de ella.

Por estas razones, este trabajo propone la utilización de una herramienta, como es el uso de un software de simulación, para poder calcular el valor financiero de la empresa antes y después de la implementación de una mejora de producción.

Primeramente se realizó el modelo conceptual del área de producción, una de las partes fundamentales en el proceso de simulación, de la “*Empresa Aceitera*” para poder realizar el modelo computacional. Una vez validado, se llevó a cabo la implementación de la mejora de producción definida en el modelo computacional establecido. Con los resultados de repetidas réplicas de simulación se obtuvo el aumento en la productividad, para después ser usado en el modelo de valuación.

Con el modelo de simulación se obtuvo la cantidad de producto que resultaría de la mejora propuesta con mayor precisión en comparación a datos basados únicamente en la experiencia de algún especialista en el proceso o de datos arbitrarios.

La valuación se realizó mediante el modelo del APV antes y después de la implementación de la mejora propuesta. El aumento en la productividad fue utilizado para calcular el posible aumento en las ventas futuras de la empresa.

La parte de la incertidumbre en este modelo se representó mediante el uso del modelo de probabilidad beta con simulación Montecarlo para definir el comportamiento de los futuros flujos de efectivo de la empresa. Se definieron los tres escenarios necesarios en el modelo mediante las variables críticas definidas por la “*Empresa Aceitera*” y se definieron las distribuciones de probabilidad beta con cada uno de los parámetros calculados.

---

Una vez finalizado el proceso de simulación se obtuvieron valores finales del valor esperado de la operación, o en este caso el valor total de la empresa, con sus respectivos intervalos de confianza.

A simple vista es posible concluir que el valor esperado de la empresa con la implementación de la mejora de producción es mayor al valor esperado de la empresa tal como está, por lo que la mejora de producción contribuye a la generación de valor.

El valor con la mejora es superior en un 56% al valor normal, por lo que la implementación de la mejora de producción definida para la “*Empresa Aceitera*” contribuiría en un 56% aproximadamente al valor de la misma.

Por otra parte, se incorporó flexibilidad a la mejora propuesta al considerar una opción real, esto permitió ver la propuesta desde un enfoque diferente. Se llevó a cabo la valuación de la opción real mediante el modelo de valuación neutra al riesgo de dos pasos. La mejora propuesta, al ser vista como un proyecto con opciones reales, arroja un nuevo resultado al aumentar su valor.

Finalmente, es posible establecer que el objetivo de este trabajo se cumplió al poder medir el impacto en el valor de la implementación de una mejora de producción en la empresa del caso, con el apoyo de un software de simulación como herramienta para poder apreciar el impacto de dicha mejora en el sistema.

La hipótesis establecida fue corroborada al comprobar que la mejora propuesta contribuye a la generación de valor en la “*Empresa Aceitera*”.

Definitivamente los modelos de simulación de eventos discretos, análisis económico y medición de la generación de valor pueden ser combinados en la toma de decisiones de mejoras en los sistemas de producción.

Una de las áreas funcionales más importantes es el área de producción por lo que herramientas que sirvan como apoyo y soporte para posibles mejoras son de vital importancia en el mejoramiento del desempeño, de la rentabilidad, de la competitividad y en el valor de la empresa.

Es importante señalar que llevar a cabo la implementación de una mejora mediante un software de simulación puede aplicarse a cualquier área funcional de la empresa pues este tipo de software tiene gran flexibilidad para poder analizar los posibles resultados de una modificación operativa en cualquier sistema.

---

## REFERENCIAS

1. Bacchini R., García J., Márquez E., *Evaluación de Inversiones con opciones reales*, Ed. Comicon, Argentina, 2006.
2. Barceló J., *Simulación de sistemas discretos*, Ed. Isdefe, España, 1996.
3. Barra M., Silva C., Leal., Ferreira de Pinho., *Economic evaluation of scenarios for manufacturing systems using discrete event simulation based experiments*, Brazilian Journal of Operations & Production Management, vol. 7, Núm. 1, 2010, pp.77-103.
4. Canada J., Sullivan W., White J., *Capital Investment Analysis for engineering and management*, 2º edición, Prentice Hall, 1996.
5. Coates E., Kuhl M., *Using software to solve engineering economy problems*, Computers & Industrial Engineering, vol. 45, 2003, pp. 285-294.
6. Copeland T., Koller T., Murrin J., *Valuation, Measuring and managing the value of companies*, Wiley, USA, 1990.
7. Dumrauf G., *Finanzas Corporativas*, Ed. Alfaomega, México, 2006.
8. Fernández P., *Métodos de valoración de empresas*, Documento de investigación, Universidad de Navarra, noviembre. 2008.
9. Fernández S. E., *Estrategia de producción*, Mc. Graw Hill, Madrid, 2006.
10. Gómez Monge R., *Análisis de la rentabilidad de la Bolsa Mexicana de Valores mediante el modelo de Capital Asset Pricing Model (CAPM), 1998-2003*, TESIS-Universidad de Vasco de Quiroga-Maestría en Economía, México, 2004.
11. Guasch A., Ramos J., Sección especial: *Metodologías de modelado y simulación para la mejora de sistemas logísticos y de producción*, Revista Iberoamericana de automática e informática industrial, vol. 2, núm. 4, 2005, pp. 36-38.

- 
12. Guasch A., Piera M., Casanovas J., Figueras J., ***Modelado y simulación Aplicación a procesos logísticos de fabricación y servicios***, 2º edición, Ediciones UPC, España, 2003.
  13. Heizer J., Render B., ***Principios de administración de operaciones***, Ed. Pearson, México, 2004.
  14. Herrerías R., García P. J., Cruz R. S., ***A note on the reasonableness of PERT hypotheses***, Operations Research Letters, vol. 31, 2003, pp.60-62.
  15. Herrerías R., Pérez E., ***Estimación de una distribución beta como modelo para su utilización en el método PERT***, Actas de la V Reunión Anual de ASEPELT-ESPAÑA, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, 1991, pp. 1191-1199.
  16. Kelton D., Sadowski R., Sturrock D., ***Simulación con software Arena***, 4º edición, Ed. Mc Graw Hill, México, 2008.
  17. Koho M., ***Production System Assessment and Improvement***, Publication 885, Thesis- Tampere University of Technology- Doctor of Technology, Tampere, May 2010.
  18. López-Lago A., ***Aplicaciones de la teoría de probabilidades y variables aleatorias***, 2º edición, Ed. Alhambra, España, 1979.
  19. Luerhman T., ***Using APV: A Better Tool for Valuing Operations***, Harvard Business Review, USA, May-June, 1997, pp.132-152.
  20. Muñoz D., ***Antes de decidir ¡simule!***, Reporte técnico ITAM-DAIIO-2001-3.
  21. Ortiz A., ***Modelo de maximización del valor económico de una empresa frente a un conjunto de alternativas estratégicas***, TESIS-UNAM-Maestría en administración (organizaciones), México, 2005.
  22. Proaño Rivera B., Salgado Arteaga J., ***Propuesta Metodológica de Valoración de Empresas aplicada a grandes empresas en el Ecuador Adaptación de los Modelos "Z" de Altman y Flujos de Caja Descontados***, Universidad del Azuay, Ecuador, 2005.
  23. Saavedra G. M. L., Saavedra G. M. J., ***Aplicación práctica del modelo de opciones reales en la evaluación financiera de proyectos de inversión***, Colombian Accounting Journal, Vol. 2, núm. 2, Colombia, 2008, pp. 197-198.

- 
24. Shannon R., *Simulación de sistemas*, Ed. Trillas, México, 1988.
  25. Suárez A., *Decisiones óptimas de inversión y financiación en la empresa*, 20° edición, Ed. Pirámide, España, 2003.
  26. Zúñiga Sáenz R., *Operaciones: concepto, sistema, estrategia y simulación*, Academia. Revista Latinoamericana de Administración, núm. 34, Bogotá, Colombia, 2005, pp. 1-24.